

鋼・合成構造物標準示方書 施工編

目 次

第1章	総則	1
1.1	適用の範囲	1
1.1.1	適用の範囲	1
1.1.2	構成	2
1.2	施工に関する要求性能	3
1.3	施工計画.....	5
1.4	ワークマンシップ	6
1.4.1	施工者の倫理	6
1.4.2	施工者に要求される技術	6
1.5	用語の定義	6
第2章	材料	12
2.1	材料に対する要求性能	12
2.2	鋼材	12
2.3	鋼材の選定	14
2.4	鋼材の確認	15
2.5	材料の保管	16
2.6	溶接材料に対する要求性能および保管方法	16
2.7	高力ボルトに対する要求性能および保管方法	18
2.8	コンクリート	18
2.9	その他の材料	19
第3章	鋼材加工	23
3.1	鋼材加工について	23
3.2	鋼材加工の要求性能	23
3.3	罫書き	25
3.4	切断・切削	26
3.5	孔明け	29
3.6	曲げ加工	30
3.7	歪矯正	31
第4章	高力ボルト接合	33
4.1	要求性能および継手の種類と特性	33
4.2	ボルトセット	35
4.2.1	摩擦接合継手	35

4.2.2	支圧接合継手	40
4.2.3	引張接合継手	41
4.3	部材の加工と精度	42
4.3.1	ボルト孔	42
4.3.2	フィラー	46
4.3.3	ティーフランジの初期形状	47
4.4	接合面の処理	47
4.4.1	摩擦接合	47
4.4.2	支圧接合	48
4.4.3	引張接合	48
4.5	ボルトの締付け	49
4.5.1	締付け方法と締付けボルト軸力	49
4.5.2	施工手順	54
4.5.3	締付け完了後の検査	55
4.5.4	施工上注意すべき点	57
第5章	溶接接合	61
5.1	溶接継手の要求性能	61
5.1.1	溶接方法	61
5.1.2	溶接材料	61
5.2	溶接作業	63
5.3	材片の組合せ精度	64
5.4	予熱	66
5.5	組立溶接	69
5.6	溶接施工の管理	70
5.7	外部きずおよび内部きずの検査	76
5.8	溶接施工試験	82
5.9	ひずみ矯正	85
5.10	溶接部の仕上げ	85
5.11	溶接施工記録	86
第6章	その他の接合	88
6.1	高力ボルト摩擦接合と溶接の併用継手	88
6.1.1	高力ボルト摩擦接合と溶接の併用継手の施工上の要求性能	88
6.1.2	施工手順	88
6.1.3	高力ボルト継手の施工	89
6.1.4	溶接継手の施工	89
6.1.5	ボルトの仮締め	89

6.2	ピン継手	90
6.2.1	ピン継手の施工上の要求性能	90
6.2.2	施工上の留意点	90
6.3	普通ボルト継手	90
6.3.1	普通ボルト継手の施工上の要求性能	90
6.3.2	施工上の留意点	90
第7章	部材精度	92
7.1	部材の精度確認	92
7.2	連結部精度	96
第8章	防食	97
8.1	防食に求められる要求性能	97
8.2	塗装	100
8.2.1	施工計画	100
8.2.2	塗料	101
8.2.3	工場塗装	102
8.2.4	現場塗装	103
8.2.5	素地調整の方法と品質確認	105
8.2.6	塗装作業	106
8.2.7	塗装部材の保管, 輸送, 架設	106
8.2.8	塗膜厚の検査	107
8.2.9	溶融亜鉛めつき面, 耐候性鋼面および金属溶射面への塗装	108
8.2.10	塗装記録	108
8.3	耐候性鋼	109
8.3.1	使用材料	109
8.3.2	黒皮処理	109
8.3.3	耐候性鋼部材の仮置き, 輸送	109
8.3.4	コンクリート床版の施工	110
8.3.5	記録	110
8.4	溶融亜鉛めつき	110
8.4.1	使用材料	110
8.4.2	亜鉛めつきの付着量	110
8.4.3	加工, 孔開け	111
8.4.4	溶接	111
8.4.5	溶融亜鉛めつきの施工	112
8.4.6	摩擦接合面の処理	113
8.4.7	溶融亜鉛めつき部材の保管, 輸送	113

8.4.8	溶融亜鉛めっき部材の架設	114
8.4.9	めっきの検査	114
8.4.10	記録	115
8.5	金属溶射	115
8.5.1	材料	115
8.5.2	加工, 孔開け	115
8.5.3	溶接	115
8.5.4	保管, 輸送, 架設	115
8.5.5	摩擦接合面の処理	115
8.6	その他の防食方法	116
第9章	架設	118
9.1	架設計画	118
9.1.1	予備調査	118
9.1.2	架設計画	119
9.1.3	架設の容易性	130
9.2	組立精度の事前確認	131
9.2.1	仮組立精度	133
9.2.2	連結部の確認	135
9.2.3	不適合品の取り扱い	136
9.3	架設時の安全性	137
9.3.1	架設時の安全性の照査	137
9.3.2	架設時の部分係数	139
9.3.3	作用	140
9.3.4	本体構造物の安全性の照査	143
9.3.5	仮設構造物の設計	144
9.4	架設作業と施工管理	145
9.4.1	部材の輸送と現場での保管	145
9.4.2	架設現場での部材組立	146
9.4.3	架設完了後の組立精度	147
9.4.4	コンクリートの施工	148
9.4.5	架設作業	148
9.4.6	定着部コンクリートの施工	150
9.4.7	グラウンドアンカーの施工	152
9.4.8	施工管理	153
9.4.9	施工精度	157
9.5	環境適合性に対する要求性能と対策	157

9.5.1	工事騒音, 振動の対策	158
9.5.2	近接構造物への影響	159
9.5.3	地価埋設物, 高圧線の防護	160
9.5.4	交通規制	160
9.5.5	建設副産物対策	161
9.6	架設作業の安全性	162
9.6.1	安全管理体制	163
9.6.2	安全対策	164

第1章 総則

1.1 適用の範囲

1.1.1 適用の範囲

「施工編」は、「鋼・合成構造物標準示方書」の「設計編」「耐震設計編」に従って設計された一般的な鋼構造物および鋼とコンクリートの合成構造物の施工を対象とする。

【解説】

「鋼・合成構造物標準示方書」(以下、本示方書)は「総則編」「構造計画編」「設計編」「耐震設計編」「施工編」「維持管理編」の6編から構成されるものである。そのうち「施工編」は、「設計編」あるいは「耐震設計編」にしたがって設計された一般的な鋼構造物および鋼とコンクリートの合成構造物の施工に要求される性能とそれを満足するための考え方、そして標準的な施工の方法を示したものである。ただし、合成構造物のコンクリート部の施工に関しては、「施工編」では記述しておらず、土木学会「コンクリート標準示方書」などを参照するとよい。

「施工編」は「設計編」と同じく、主として道路橋、鉄道橋を対象とするが、港湾・海洋構造物、河川構造物、電力施設など、広く社会的、公共的に使用される構造物や施設、そしてそれらの仮設構造物も対象に含まれる。多くの構造物には、それら独自の施工に関する基準が別に定められているが、これらの施工基準は特定の構造物を対象としているため、そのどれにも当てはまらない構造物を施工する場合には施工方法選択の拠り所がない場合などの困難を伴う場合がある。「施工編」は、道路橋、鉄道橋など特定の鋼・合成構造物の施工の標準的な手法を示すとともに、その他の鋼・合成構造物の施工にも適用できるように配慮している。また、「施工編」に示されていない新たな手法を採用しようとする場合にも、参考となるよう配慮している。具体的には、施工の標準的な手法を示すことに加えて、施工の各段階での施工精度の許容値、および検査方法、不適合品の修正などの取扱い手法、施工試験の方法、およびそれらの根拠となるバックデータを可能な限り示している。ただし、個々の構造物の施工に関して、「施工編」では十分に触れられていない場合、また、「施工編」に定める項目を適用することが必ずしも適切ではない場合もある。そのような場合、個々の構造物に対して定められている施工基準などを参考にするのがよい。ただし、そのような場合でも「施工編」に定める趣旨を十分に理解して、施工に要求される性能に対する照査方法、およびその精度を予め明確にしておくのがよい。

なお、鋼・合成構造物の施工に関して、土木学会では以下の基準類が出版されている。

- 鋼構造架設設計施工指針 (2001)
- 鋼構造物の性能照査型設計体系の構築に向けて (2003)
- コンクリート標準示方書 (2001)
- 鋼構造物設計指針 PART-A 一般構造物 (1997)
- 鋼構造物設計指針 PART-B 合成構造物 (1997)

また、土木学会以外でも、以下のような基準類が出版されている。「施工編」の各章において参照した基準類については、それぞれの章に記している。

- 道路橋示方書
- ・・・日本道路協会(2002)

鋼道路橋施工便覧	・・・日本道路協会（1985）
鋼道路橋の疲労設計指針	・・・日本道路協会（2002）
鋼道路橋塗装・防食便覧	・・・日本道路協会（2005）
鉄道構造物等設計標準・同解説（鋼・合成構造物）	・・・鉄道総合技術研究所（2000）
鋼構造接合部設計指針	・・・日本建築学会（2006）
鋼構造設計基準 - 許容応力度設計法	・・・日本建築学会（2005）
軽鋼構造設計施工指針・同解説 S I 単位版	・・・日本建築学会（2002）
鋼管トラス構造設計施工指針・同解説	・・・日本建築学会（2002）
労働安全衛生法および同規則	・・・厚生労働省（2006 改訂）
クレーン等安全規則	・・・厚生労働省（2006 改訂）

1.1.2 構成

「施工編」は以下の章により構成される。

- 1 章「総則」
- 2 章「鋼材料」
- 3 章「鋼材加工」
- 4 章「高力ボルト接合」
- 5 章「溶接接合」
- 6 章「その他の接合」
- 7 章「部材精度」
- 8 章「防食」
- 9 章「架設」

【解 説】

「施工編」の2章以降は、道路橋、鉄道橋などの鋼・合成構造物の一般的な施工手順に従い、2章「鋼材料」3章「鋼材加工」4章「高力ボルト接合」5章「溶接接合」6章「その他の接合」7章「部材精度」8章「防食」9章「架設」という構成とした。

「施工編」では、1章「総則」において施工に求められる要求性能の一つとして、「設計で要求された性能を、完成された構造物が満たすように施工しなければならない」と規定している（1.2 (1)）。特に、施工の各段階における不具合（初期欠陥や不整など）は、構造物の完成形としての安全性、使用性、機能性などの性能を低下させるだけでなく、疲労や腐食といった耐久性に関わる問題を引起すこともあるため、十分に注意する必要がある。

2章以降の各章では、施工の各段階において、要求性能・精度・品質を実現するための標準的な施工方法や、その管理方法に関わる標準的な手法について、可能な限りその根拠となるバックデータと併せて示している。従って、2章以降の各章に示される方法により施工が確実に行われ、品質管理が適切に行われていることを確認することにより、構造物完成後の初期健全性の照査に代えることが考えられる。

ただし、「施工編」では、あくまでも標準的な手法を示したものであり、高い技術力や十分な経験を有する施工技術者が、「施工編」の定めから外れる方法を採用することを妨げるものではない。すなわち、実施工における作用外力・環境を模擬した施工実験などを行うことにより、十分なバックデータと技術的な裏付けにより、施工に求められる性能を確保することが確かめられた場合には、新しい施工方法を採用してもよい。また、「施工編」に定める方法が適当ではないと判断される構造物を施工する場合でも、適宜必要とされる箇所を適用するの

がよい。ただし、そのような場合でも「施工編」に定める趣旨を十分に理解して実状に適應するようにしなければならない。

1.2 施工に関する要求性能

(1) 構造物の完成形に関する要求性能

設計で要求された性能を、完成された構造物が満たすように施工しなければならない

(2) 構造物の施工に関する要求性能

構造物の施工は、施工性（安全性、容易性、确实性、経済性）に十分に配慮した工法を選択し実施しなければならない。

(3) 社会環境、自然環境への影響に関する要求性能

構造物の施工においては、社会環境、自然環境に及ぼす影響を最小限にしなければならない。

(4) 施工従事者の安全性に関する要求性能

構造物の施工においては、施工従事者の安全性を確保しなければならない。

【解説】

施工に関する要求性能に関して、「施工編」では、「構造物の完成形に対する要求性能」「構造物の施工に関する要求性能」「社会環境、自然環境への影響に関する要求性能」「施工従事者の安全性に関する要求性能」の4項目を定めた。

(1) 完成した構造物に要求される全ての性能は、設計段階で規定されるものであり、この要求された性能を、完成された構造物が満たすように施工することが施工に関する要求性能となる。「設計編」では、構造物に要求される基本性能として「施工性」の他に、「安全性」「使用性」「耐久性」「社会・環境適合性」「耐震性」「維持管理性」を規定している。施工においては、製作精度、架設精度の不良や初期欠陥などによって、完成した構造物が、設計で構造物に要求される性能を下回らないようにしなければならない。このため、これら基本性能に対する完成時の健全性は、完成時の構造物を計測などにより直接確認する必要がある。しかしながら、「施工編」で対象としているような大規模な構造物では完成時に全ての基本性能に対する健全性を確認することは一般に困難である場合が多い。そのような場合には「施工編」に示す施工の各段階において、本書に定める所定の方法により施工が确实に行われ、品質管理が適切に行われていることを確認することにより、構造物の完成時の健全性の照査に代えることが考えられる。

(2) 鋼・合成構造物および仮設構造物の施工は、施工の時期、場所、工法および構造物の特性を考慮し、施工性に配慮した適切な方法を選択し、実施されなければならない。ここで言う施工性には、施工の安全性（安全に施工が行えるか）、容易性（実現が困難ではないか）、确实性（要求された精度、品質、性能を确实に満足できるか）、および経済性などが挙げられ、施工計画を立案する際には、これら施工性に十分に配慮する必要がある。

施工時には、完成時とは構造系が異なる場合もあり、また各施工段階により構造系が変化する場合もあるため、施工時の構造物の耐荷性能（施工時の荷重等による作用効果以上の抵抗力を有すること）や安定性（施工時に考慮する作用の範囲内で、滑動、転倒などが生じず安定であること）等の安全性を十分に考慮して施工方法を検討する必要がある。

(3) 鋼・合成構造物の施工においては、社会環境、自然環境に及ぼす影響を最小限にしなければならない。構造物の施工段階においては、その段階に応じて一時的に社会環境、自然環境に負の影響を及ぼす可能性が少なからずある。従って施工に際しては、これらの負の影響が最小限となるように十分考慮しなければならない。

この社会環境、自然環境への影響は、その施工段階（製作、運搬、架設）や施工法だけでなく、施工環境（場所）、施工時期（時間）により、その特性や程度が大きく異なる場合があり、これらの条件に応じた配慮を十分に行う必要がある。このような影響の中には、施工段階における材料・機材の落下などによる直接被害以外にも、例えば、工場などでの製作段階では、周辺への騒音、振動や大気汚染といった影響が考えられる。工場から現場への運搬段階では、運搬経路における交通環境への影響などが挙げられる。架設段階では、施工箇所周辺の住民が抱く視覚的な不快感、騒音、振動の発生による聴覚、体感的な不安感や不快感、工事中の日照問題や電波障害等の発生、大気汚染といった問題が挙げられる。そのため、施工方法を適切に選択するに際し、環境保全に係る関連法令による環境基準値等の法規制による基本要件が満足されるようにすることは当然のことであるが、このような規制を受けない場合であっても社会環境・自然環境への影響を最小限にするための必要な配慮を行う必要がある。なお、このような規制を受けない場合の照査は、照査指標を定量化することは困難であることから、社会環境・自然環境に配慮した施工計画となっているか、また確実にそれらの事項が実施・管理されていることを確認しなければならない。そのような場合の照査事項の例として、「鋼構造物の性能照査型設計体系の構築に向けて」[土木学会, 2003]では、表-解 1.2.1 のような照査事項例を示している。

表-解 1.2.1 施工時の社会・環境適合性に対する照査事項の例

要求性能	照査指標
「景観性」: 住民などが不快感を抱かないような景観性を配慮した施工	<ul style="list-style-type: none"> ・仮設構造物が見苦しいものにならないよう配慮しているか ・施工現場が整理整頓されているか ・塗装時の塗料飛沫、タレ等により周辺を汚さないような対策を実施しているか ・動物保護区においては、営巣などに影響を及ぼさないような、できるだけ周辺の景色とマッチした覆い（ネット）などが設置されているか
「低公害性」: 住民などが不安感、不快感を抱かないような騒音・振動の発生が少ない施工	<ul style="list-style-type: none"> ・騒音・振動の少ない施工法への配慮がされているか ・ボルト締付け時等の騒音対策がなされているか ・施工時期は、動物保護区の営巣などに影響を及ぼさないか ・施工時間帯は住民が不快感の少なくなる時間帯か

(4) 鋼・合成構造物および仮設構造物の施工に際しては、施工作业員の安全性を確保できるよう、適切な施工の方法を選択する必要がある。その際、「労働基準法」や「労働安全衛生規則」などの各種法規制の基準値などを遵守するとともに、十分な安全措置や施工作业員に対する安全教育を施す必要がある。

1.3 施工計画

- (1) 施工に際し、設計図書を十分に理解し、施工に求められる要求性能を満足できる施工計画を作成しなければならない。
- (2) 施工作业の遂行のために必要な全ての情報および技術要求項目を記載した施工計画書を作成しなければならない。
- (3) 施工計画書には、施工計画書の内容を変更する際の手順についても記載しておかなければならない。
- (4) 施工者は、構造物の要求性能に関して、提出が必要な記録を、必要に応じて予め取り決め、施工計画書に明記しなければならない。

【解説】

施工計画書とは、製作要領書、溶接施工要領書、架設計画書等の総称である。設計において要求された構造物の性能を確保するために、設計において前提とした諸条件が満足される施工が行われることを確認できるよう施工計画書を作成しなければならない。

- (1) 「施工編」に規定される内容は、「設計編」「耐震設計編」に従って設計された構造物に要求される性能を、構造物が満たすように施工するための標準的な考え方を示したものである。そのため、施工段階においては、構造物の設計図書について、「1.2 施工に関する要求性能」に示す施工に求められる要求性能の観点から十分に理解し、施工に求められる要求性能を満足する施工計画を立案しなければならない。

設計図書などを確認した段階で施工性に問題があった場合、また、施工段階で、設計時もしくは設計図書確認時に想定し得ない事態が生じた場合には、その段階で施工を中止し、施工者、設計者、維持管理者など関係者間で問題の解決にあたる。関係者のみでその解決が図れない場合には、公的機関や見識者に対し意見を求め、その解決の手助けとすることも考えられる。また、協議の結果、設計の変更がなされる場合でも、施工に求められる要求性能に十分に配慮する必要がある。

- (2) 施工計画書には、設計上の要求性能を確保することができる施工が行われることを示す要領として、「施工編」の2章～9章に示す各施工工程の工程管理、手順・方法、品質、交通整理などを含む環境対策など、施工作业の遂行のための全ての情報および技術要求項目を明確に記載しておかなければならない。設計上要求される性能を、完成した構造物が満足しているかどうかを、最終段階の竣工検査などのみで確認しようとする場合、その全ての性能を満足しているかどうかを確認することが難しい場合や、性能が満足されていない場合に対処することが難しいことがある。このため、最終的な性能の確保のための方法を計画し、また施工途中の品質確保の重要性についても認識できるよう、施工工程中の品質管理の方法およびその許容値について示しておくことが必要である。
- (3) 施工中には、設計段階、もしくは施工計画立案段階では想定し得ない不測の事態が生じる場合がある。そのため施工計画書に示される内容の変更、修正の取り扱い、不一致、承認要請、品質に関する議論の取り扱い手順などについても予め施工計画書に明記しておく必要がある。
- (4) 施工者は、施工計画書に記載される手順に従い、技術要求事項を満足するように施工し、施工中の記録および完成構造物に関する記録を提出し、施工計画書に従って作業が行われたことを明示しなければいけない。また、施工中の情報の中には、完成した構造物が要求性能を満足しているか確認、照査するために必要な情報や、維持管理上必要な情報も多い。そのため、施工中の記録が必要な項目について、必要に応じて予め取り決めておかなければならない。

1.4 ワークマンシップ

1.4.1 施工者の倫理

鋼・合成構造物の施工に関連する業務に従事するものは、技術者倫理に基づき、公衆、事業の依頼者、自身に対して公平、不偏な態度を保ち、誠実に業務を行わなければならない。

【解説】

「施工編」は、広く社会的、公共的に使用される鋼・合成構造物を対象として、その施工に要求される事項を示したものである。そのため、これらの構造物の施工に関連する業務に従事する者は、専門知識、技術、経験を踏まえ、自己の良心と信念に基づき、公衆、事業の依頼者、自身に対して公平、不偏な態度を保ち、広く社会に貢献するべく誠実に業務を行わなければならない。

なお技術者の倫理規定に関しては、土木技術者の倫理規定[土木学会理事会，1999]などを参考にするとよい。

1.4.2 施工者に要求される技術

施工業務に従事するものは、その業務に要求される十分な知識、技術を有していなければならない。

【解説】

鋼・合成構造物の施工業務においては、その施工や品質確認のために専門的な知識、技術、技能を必要とする場合が多い。また、それらの各工程で、種々の重機器、精密機械、火器などを用いる場合が多く、これらの使用に際しては、使用方法や安全管理方法など専門的な知識や技術を必要とする場合が多い。そのため「1.2 施工に関する要求性能」に規定される施工に求められる要求性能を満足するため、施工業務に従事するものは、その各業務に要求される十分な知識、技術、技能を有していなければならない。このような技術等を有していることの証明には、資格制度の利用が有効である。

なお、「施工編」では、作業に応じて法的に要求される資格に加えて、技術的な観点から要求される資格も示している。また、本書では触れていない資格等に関しても、法令その他基準類等に従わなければならない。

1.5 用語の定義

本示方書に共通して用いる用語を以下のように定義する。

・計画、設計、施工、および維持管理に関する一般用語

性能照査型設計法：設計された構造物が要求性能さえ満足していれば、どのような構造形式や構造材料、設計手法、工法を用いてもよいとする設計方法。具体的には、構造物の目的とそれに適合する機能を明示し、機能を備えるために必要とされる性能を規定し、規定された性能を構造物の計画、設計、施工、維持管理に至る各段階で確保することにより機能を満足させる設計方法。

仕様規定に基づく設計：具体的な構造材料の種類や寸法、解析手法等が指定されており、それに基づいて設計する方法。

適合みなし規定：要求性能を満足しているとみなされる「解」を例示したもので、性能照査方法を明確に表示できない場合に規定される構造材料や寸法、および従来の実績から妥当と見なされる現行設計基準類に指定された解析法、強度予測式等を用いた照査方法を表す。

信頼性設計法：構造物が限界状態に達する可能性を確率論的に照査する設計法。

限界状態設計法：照査すべき限界状態を明確にした設計法。照査フォーマットとして信頼性理論のレベル I にあたる部分係数法(Partial Factor Design)を採用することが現時点では多いため、部分係数法が限界状態設計法と同義で使われることもあるが、厳密には両者は異なるものである。

部分係数法：構造物に作用する各種の作用，地盤パラメータ，構造物寸法，設計計算モデルの精度，限界状態を設計計算で照査するための基準値などの不確実性に対して，構造物が所定の限界状態を適当な確率で満足するための余裕を，部分係数により考慮する設計法。

ライフサイクルコスト：構造物の計画，設計，施工，供用・維持管理，解体までを含めたライフサイクルにおいて必要とされるコストの総量。

設計供用期間：当初の維持管理計画の範囲内で，特別な補修をすることなしに構造物が当初の目的のために使用されると設計時に想定される期間。

耐用期間：工学的な手法に基づき，疲労，腐食および材料劣化などの影響により構造物の性能が低下し，限界状態に至ると予測される期間。

目的：構造物を建設する理由を一般的な言葉で表現したものであり，事業者または利用者（供用者）を主語として記述することが望ましい。

基本要件：構造物の用途・機能，環境保全，作業の安全性に関して遵守すべき事項。基本的諸元，あるいは設計施工等の行為に関して法令等で定められた条件。

機能：使用する目的に応じて構造物が果たすべき役割。

審査：目的の設定から照査までの一連の設計が適切に実施されているかどうかを精査する，認定を受けた第三者機関が行う行為。

認定：審査を実施し得る機関を定めること。

認証：認定機関が，目的の設定から照査までの一連の設計が適切に実施されていることを審査し，証明書を出す行為。

・性能に関する用語

性能：使用する目的あるいは要求に応じて構造物が発揮すべき能力。

要求性能：構造物がその目的を達成するために保有すべき性能。

性能項目：要求性能を細分化したもので，性能項目ごとに照査指標が設定される。照査指標には，一般に，限界状態が規定される。

性能レベル：構造物に要求される性能のレベルで，各要求性能に対し必要に応じて設定される。

安全性：構造物が利用者，および第三者の生命・財産を脅かさないために必要な性能。

使用性：構造物の利用者が許容限度以上の不快感，不安感を覚えずに構造物を利用するために必要な性能。

耐久性：繰り返し働く変動作用あるいは環境作用による構造物あるいは部材の性能の低下に対する抵抗性。鋼・合成構造物では，一般に環境作用による鋼材腐食，繰り返し働く変動作用による疲労現象，およびコンクリート部材の材料劣化や耐荷力の低下を考慮する。

修復性：構造物が想定される作用により損傷を受けて性能が低下した場合の性能回復のし易さ。

社会・環境適合性：構造物が健全な社会，経済，文化等の活動に貢献し，周辺の社会環境，自然環境に及ぼす悪影響を最小限にする性能。

施工性：構造物の施工中における安全性および確実性，容易性，経済性

初期健全性：構造物の完成時の性能が，設計時に設定した構造物の性能を下回らない性能。

持管理性：構造物の維持管理の容易さ。

・限界状態に関する用語

限界状態：想定される作用に対して，構造物の全体あるいは一部が所要の要求性能を確保できず，その機能を果たさなくなると設計上定めた状態．

安全限界状態：構造物あるいは部材が破壊したり，大変形，変位，振動等を起こし，構造物の安全性を失う状態．構造物の安全性に対する限界状態として用いる．終局限界状態と表記されることも多く，[耐震設計編]ではこの用語を用いる．

使用限界状態：構造物または部材が過度の変形，変位，振動等を起こし，正常な使用ができなくなる状態．構造物の使用性に対する限界状態として用いる．

修復限界状態：想定される作用により生ずることが予測される損傷に対して，適用可能な技術でかつ妥当な経費および期間の範囲で修復を行えば，構造物の継続使用を可能とすることができる限界の状態．構造物の修復性に対する限界状態として用いる．なお [耐震設計編] では，損傷限界という用語を用いる．

疲労限界状態：構造物または部材が作用の繰り返しにより疲労損傷し，機能を失う状態．構造物の耐疲労性に対する限界状態として用いる．

・照査に関する用語

性能照査：構造物が性能規定を満足しているかの判定を行う行為．限界状態設計法の場合には，応答値 S と対応する限界値 R の間での判定を行う行為．

照査指標：性能の照査に用いるもので，性能項目を定量的評価が可能な物理量に置き換えたもの．

応答値 S ：作用によって構造物に発生する物理量．

限界値 R ：応答に対して許容される限界の値で，要求性能に応じて定められる物理量．

統計的特性値：対象とする確率変数に関するデータからその確率分布形とパラメータ値を決定したとき，その値を下回る確率がある一定の値となるように定められた値．確率分布形の特性を表示する期待値や最頻値も統計的特性値の1つとみなせる．

最適化：構造物の要求性能あるいは性能項目の一部を目的関数として，考え得る種々の要因を変数とし，目的関数以外の要求性能あるいは性能項目よりなる制約条件のもとで目的関数が最小あるいは最大となるような最適な解を求める行為．

部分係数：設計の不確実性を考慮して各設計変数に割り当てられた係数．荷重係数，材料係数，構造解析係数，部材係数，および構造物係数の5つの係数が用いられることが多い．

構造物係数：構造物の重要度，限界状態に達した際の社会的・経済的影響など考慮するための係数．

・作用に関する用語

作用：構造物または部材に応力，変形の増加，材料特性に経時変化をもたらすすべての働き．

荷重：構造物に働く作用を，作用モデルを介して，断面力，応力または変位等の算定という設計を意図した計算の入力に用いるために，直接構造物に載荷する力学的な力の集合体に変換したもの．

設計作用：おのおのの作用の特性値にそれぞれの荷重係数を乗じた値．

直接作用：構造物に集中あるいは分布して作用する力学的な力の総称．

間接作用：構造物に課せられる変形や構造物内の拘束の原因となるもの．

環境作用：構造物の材料を劣化させる原因となるもの．

永続作用：設計供用期間中を通して絶えず生じる作用で，時間的変動が少ない作用．

変動作用：設計供用期間内の変動が平均値に比べて無視できない作用で，かつ単調な変化をしない作用．

主たる変動作用：安全性の照査に用いる作用の組合せにおいて、その組み合わせの中で最も主要と考えられる一つ、あるいは一組の変動作用。

従たる変動作用：安全性の照査に用いる作用の組合せにおいて、主たる変動作用や偶発作用と組み合わせて付加的に考慮すべき変動作用。

偶発作用：設計供用期間中にはまれにしか生じないが、一度生じると構造物に重大な損傷を及ぼすと考えられる作用。

作用修正係数：作用の規格値あるいは公称値を特性値に変換するための係数。

作用係数：作用の特性値からの望ましくない方向への変動、作用の算定方法の不確実性、設計供用期間中の作用の変化、作用の特性が限界状態に及ぼす影響、環境作用の変動等を考慮するための係数。

・材料に関する用語

材料強度の特性値：定められた材料強度試験法による試験値のばらつきを想定した上で、試験値がそれを下回る確率がある一定の小さな値以下となることが保証された材料強度の値、またはこれと同等の値。

材料強度の規格値：材料強度の特性値とは別に、この示方書以外の構造物に関する設計基準またはその他の規定により定められた材料強度の値。

材料修正係数：材料強度の規格値を特性値に変換するための係数。

材料係数：材料強度の特性値からの望ましくない方向への変動、供試体と構造物中との材料特性の差異、材料特性が限界状態に及ぼす影響、材料特性の経時変化などを考慮するための係数。

設計材料強度：材料強度の特性値を材料係数で除した値。

・応答値の算定に関する用語

構造解析係数：断面力などを算定するのに用いる構造解析手法の不確実性、構造物のモデル化の確からしさなどを考慮するための係数。

設計応答値：作用係数倍した作用を用いて算定した部材および構造物の応答値に構造解析係数を乗じた値。

・限界値の算定に関する用語

部材係数：部材耐力を算定するのに用いる強度解析手法の不確実性、部材寸法のばらつきの影響、部材の重要度などを考慮するための係数。

設計限界値：設計材料強度を用いて算定した部材および構造物の限界値を部材係数で除した値。

・施工一般に関する用語

施工に関する要求性能：「施工編」では、「構造物の完成形に対する要求性能」「構造物の施工段階における安全性に関する要求性能」「社会環境、自然環境への影響に関する要求性能」「施工従事者の安全性に関する要求性能」の4つの性能を定義している

施工性：「施工編」では構造物の施工中の安全性、容易性、確実性、経済性と定義している

品質：構造物の性能を表す指標

精度：構造物の設計で定められた寸法に対する実構造物の誤差の程度

きず：非破壊検査の結果から判断される不連続部で、規定された判定基準以内であり不合格とする必要がない不連続部

欠陥：非破壊検査の結果より規定された判定基準を超え不合格となるきずのこと

不適合品：要求品質を満足していないものまたは状態

補修：不適合状態を適合状態に回復する行為

鋼材：「施工編」では、「鋼材」は原板やそこから切出したもの、孔をあけたものなどを含み、ボルト接合、溶接接合がなされる前までの全てを表す用語として用いている

母板（母材）：切断されたり、高力ボルト接合や溶接接合により接合される材料、部材。高力ボルト摩擦接合部では部材間の応力を伝達するための接合部材であり、2面接合の場合では、連結板に挟まれた部材。

部材：構造物の部材として断面が形成されたもの

主要（一次）部材：構造物を構成する要素のうち、構造物が成立するために必要な部材

二次部材：構造物を構成する要素のうち、構造物が成立するために必須ではなく、別の目的で設置された部材

施工計画書：製作要領書、溶接施工要領書、架設計画書等の総称

設計図面：構造物の構成要素を規定した資料

鋼材の材料特性：鋼材の化学成分、引張強さ、降伏点、じん性、降伏比、伸び、形状寸法および表面状況

・鋼材加工に関する用語

冷間曲げ加工：鋼板を常温で塑性加工し、永久ひずみを与え曲げる加工法

・継手に関する用語

連結板（添接板）：高力ボルト摩擦接合部で部材間の応力を伝達するために母板に添えて取り付けられる材片

接合面：母板と連結板が接合（接触）する面

フィラー：高力ボルト接合面に生じた隙間に挿入する板

肌すき：高力ボルト接合面に生じた隙間

拡大孔：製作誤差・架設誤差を吸収するために施工上やむを得ず設ける通常の規定よりも径の大きなボルト孔

長孔：製作誤差・架設誤差を吸収するために施工上やむを得ず設けるボルト孔であり、スロット形をしたもの

耐力点工法：高力ボルトの張力導入方法の一種。ボルトへの張力を導入時に、加圧トルクとボルトの伸びの両方を検知しながら作業を行い、ボルトが塑性する耐力点まで軸力を導入する工法

組立溶接：本溶接前に定められた位置に鋼板を保持するための断続的な溶接

本溶接：組立溶接後、指定された継手形状にするための溶接

拘束度：溶接継手が溶接による変形（収縮）を拘束される程度で、溶接継手のルト間隔を単位長さ収縮させるのに要する単位溶接長当たりの力の大きさで定義される（単位はN/mm²・mm）。代表的な試験方法として、拘束度一定のy型溶接割れ試験やスリット長さにより拘束度が変わるH型拘束割れ試験等がある。

仕上げ：切断部や溶接部などを指定された形状に加工すること

溶接施工試験：要求される溶接継手の性能を試験体にて確認する試験であり、健全な溶接ができるかの鋼材や溶接材料の溶接性、引張強度やじん性などの溶接部の機械的性質などを確認するために行われる

ラメラテア：十字継手およびすみ肉多層盛継手の様に、母材表面に直角方向の強い引張拘束力が生じる継手において、熱影響部およびその隣接部に母材表面に生じる剥離状の割れ。防止するため、厚さ方向絞り値および硫黄含有量を規定する鋼材の使用、溶接残留応力を低減する施工法が用いられる。

溶接材料の乾燥：溶接に有害な水素を除去するため，一般にサブマージアーク溶接のフラックスや手溶接棒などに行う乾燥処理．200 以上の温度に一定時間以上保持する水分の排除処理と排除した材料を再吸湿しない様に 100 程度に乾燥状態を維持する処理がある．

遅れ破壊：高力ボルトや PC 鋼材の様に引張強さが大きな高張力鋼材に，静的な引張力が作用している場合，ある時間の経過後，突然破壊する現象．切欠き等による応力集中部に，腐食などの使用環境による水素が影響を及ぼし発生する．

併用継手：I 形断面けたや箱形けた等の曲げモーメントを主として受ける部材において，一断面の中で，高力ボルト摩擦接合と溶接を併用する継手

・防食に関する用語

厚膜形ジンクリッチペイント：亜鉛末およびアルキルシリケートまたはエポキシ樹脂および硬化剤，顔料および溶剤を主な原料とする防錆塗料で，厚膜形無機ジンクリッチペイントと厚膜型有機ジンクリッチペイントがある．

高摩擦有機ジンクリッチペイント：0.4 を超えるすべり係数が得られる厚膜型有機ジンクリッチペイント

素地調整：鋼材の表面に防食を目的とする塗膜が良好に付着するよう，付着の障害となる鋼材表面のミルスケール，さび，油脂などの物質を除去するとともに，表面に適度な粗さを与える処理．機械的方法あるいは化学的処理方法がある．下地処理，前処理，ケレンなどと呼ばれることもある．

耐候性塗料：耐候性を目的に，主に中・上塗りとして用いられる塗料．ふっ素樹脂塗料，ポリウレタン樹脂塗料，シリコンアルキド樹脂塗料，フタル酸樹脂塗料などがある．

塗料の乾燥：塗付した塗料の薄層が液体から固体に変化する過程の総称．塗料の乾燥機構には，溶剤の揮発，蒸発，塗膜形成要素の酸化，重合，縮合などがあり，乾燥の条件には，自然乾燥，強制乾燥，加熱乾燥などがある．

防錆塗料：防錆を目的に，主に下塗りとして用いられる塗料．防食塗料ともいう．クロムフリー塗料，エポキシ樹脂塗料，ジンクリッチペイントなどがある．

りん酸処理：りん酸および可溶性りん酸塩を主体とする水溶液で金属を処理し，その表面に不溶性のりん酸塩化被膜を作る表面処理方法．りん酸塩処理，りん酸塩化成処理とも呼ばれる．

・架設に関する用語

出来形：製作完了した部材の局部および全体寸法および外観形状

仮組立：溶接完了した単一部材を組立てることで，部材出来形を確認する方法

実仮組立：実際の部材を工場でクレーン等を用いて組立て，部材の出来形を無応力状態にて確認する方法

シミュレーション仮組立：部材を 3 次元計測システムにより単品計測を行い，そのデータを元にコンピューターでシミュレーションを行うことにより，実仮組立と同等の確認をする方法

第 1 章の参考文献

土木学会理事会(1999): 土木技術者の倫理規定，土木学会ホームページ <http://www.jsce.or.jp/rules/rinnri.shtml>

土木学会(2002): 鋼構造物の性能照査型設計体系の構築に向けて

第2章 材 料

2.1 材料に対する要求性能

使用する材料は設計において想定する材料特性，外観であることを確認する．

【解 説】

本章においては，鋼構造物の主たる材料の要求性能，材料特性，外観，選定方法，確認方法，保管について示す．鋼材，溶接材料，高力ボルトに関しては本章で述べるが，コンクリートに関しては「土木学会コンクリート標準示方書」[土木学会,2008a,b]参考にするのがよい．

2.2 鋼材

鋼材は設計において考慮された材料特性，外観であることを確認する．

(1) 鋼材の材料特性

設計図面等に記載された鋼材特性，ならびに設計および製作架設上，必要に応じて追加された特性が満足することを，適切な方法で確認する．

(2) 形状寸法および外観

外観上，鋼材の特性や品質が損なわれる欠陥がないこと，設計・製作上支障をきたす形状寸法，表面性状でないことを確認する

【解 説】

- (1) ここで言う鋼材の特性値とは，化学成分，引張強さ，降伏点，じん性，降伏比，伸び，形状寸法および表面性状を示す．鋼材の材料特性の確認方法は，鋼材メーカーが発行する鋼材検査証明書（以下ミルシートと称す）に記載された事項と照合することにより行ってよい．ミルシートの内容では確認できない，特別な特性が要求される場合には，試験により確認する必要がある．
- (2) ミルシートの照合では保証できない下記の項目は，管理，実施方法を明確にし，確認する．外観上の欠陥とは有害な表面さず，著しい発錆等を示す．
 - a) 鋼材の厚さの許容差
 - b) 鋼材の平坦度
 - c) 鋼材の表面の有害なきずの有無

鋼材は JIS 等により規格された工業製品であり，厚さや平坦度の許容値が規定されている．JIS 等の規格に適合し，かつこれまで十分に使用実績のある鋼材は，通常の場合品質が一定の水準以上であるものと考えられるため，必ずしも事前の品質確認によらなくとも，ミルシートをもって，その品質確認に替えることができるものとする．これまで使用実績が多い JIS 規格の構造用鋼材，鋼管等を表-解 2.2.1 に示す．

鋼材の厚さの許容差は，例えば JIS 規格においては，JIS G3193「熱間圧延鋼板および鋼帯の形状，寸法，質量およびその許容差」に示されており，図-解 2.2.1 に示す通り，同じ板厚においても，鋼板の幅により許容値がことなる．また，プラス側とマイナス側を認めることを基本とし，受渡当事者間の協定により許容差をプラス側またはマイナス側に制限してよいとしている．また，道路橋示方書[日本道路協会,2002]においては，厚さの許容差は JIS G3193 を適用し，かつマイナス側の許容値が公称板厚の 5%以内になることを規定してい

る。

板厚の許容値は強度の算出や鋼材による死荷重に影響を及ぼすため、設計で定める許容範囲の鋼材を用いるものとする。「設計編」に示す通り、設計照査に用いる部分係数の中で、鋼材強度のばらつきは材料係数に、板厚のばらつきは、死荷重算定時の作用係数、部材耐力計算時の部材係数に影響を及ぼす。鋼材強度のばらつきおよび板厚公差の許容値の設定は、これら部分安全係数に密接に関連している。

平坦度、表面の有害なきずは鋼材納品前後で異なる可能性があるため、鋼材供給者と施工者の責任の所在を明確にしておくことが望ましく、最終的に有害なきずを製品に残さないことを確認する。

表-解 2.2.1 使用実績が多いJIS 規格の構造用鋼材および鋼管他

鋼材の種類	規格		鋼材記号
構造用鋼材	JIS G 3101(2004)	一般構造用圧延鋼材	SS400
	JIS G 3106(2004)	溶接構造用圧延鋼材	SM400, SM490, SM490Y, SM520, SM570
	JIS G 3114(2004)	溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材	SMA400W, SMA490W, SMA570W
	JIS G 3199(1992)	鋼板および平鋼の厚さ方向特性	品質を規定する他の規格を補足するもの
鋼管	JIS G 3444(2004)	一般構造用炭素鋼管	STK400, STK490
	JIS A 5525(2004)	鋼管くい	SKK400, SKK490
	JIS A 5530(2004)	鋼管矢板	SKY400, SKY490
鋳鍛造品	JIS G 3201(1988)	炭素鋼鍛鋼品	SF490A, SF540A
	JIS G 5101(1991)	炭素鋼鋳鋼品	SC450
	JIS G 5102(1991)	溶接構造用鋳鋼品	SCW410, SCW480
	JIS G 5111(1991)	構造用高張力炭素鋼および低合金鋼鋳鋼品	SCMn1A, SCMn2A
	JIS G 4051(2005)	機械構造用炭素鋼鋼材	S35CN, S45CN
	JIS G 5501(1995)	ねずみ鋳鉄品	FC250
	JIS G 5502(2001)	球状黒鉛鋳鉄品	FCD400, FCD450
線材	JIS G 3502(2004)	ピアノ線材	SWRS
線材二次製品	JIS G 3506(2004)	硬鋼線材	SWRH
	JIS G 3536(1999)	PC 鋼線およびPC より線	SWPR1, SWPD1, SWPR2, SWPR7, SWPR19
	JIS G 3549(2000)	構造用ワイヤロープ	
棒鋼	JIS G 3112(2004)	鉄筋コンクリート用棒鋼	SR235, SD295A, SD295B, SD345
	JIS G 3109(1994)	PC 鋼棒	SBPR785/1030, SBPR930/1080, SBPR930/1180

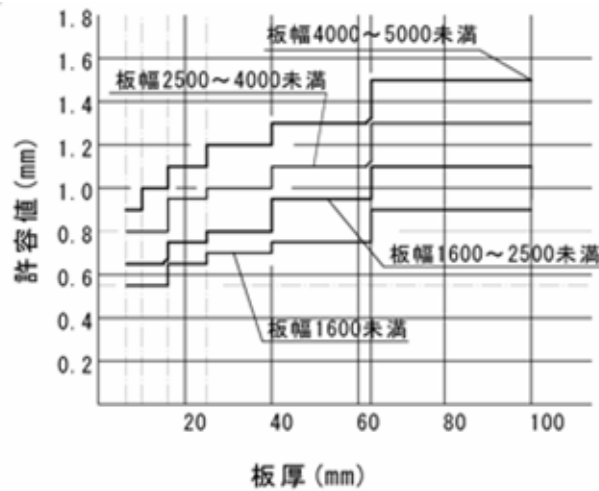


図-解 2.2.1 JIS規格(JIS G3193)の厚さの許容値

2.3 鋼材の選定

- (1) 所定の品質確保, 施工性の改善, 省力化などを目的とした, 種々の特性を有する鋼材を使用する場合, その目的を満たす特性を有することを試験等により確認する.
- (2) 設計が指示するものと異なる規格の鋼材を使用する場合, その要求品質を満たす特性を有することを試験等により確認し使用することができる.

【解 説】

(1) 種々の特性を有する鋼材において, 下記の鋼材は設計編 3.2.1 項に述べられている通り, JIS などの規格品を下敷きとして化学成分や圧延方法を部分修正することによって製造されるものであり, 鋼材特性の部分的変更が構造物に及ぼす影響を試験等によって確認することによって使用することができる. また, その品質については, ミルシートをもってその品質確認に替えることができる.

- 1) 冷間曲げ加工半径を小さくできる, じん性の高い鋼材
 - 2) 耐ラメラテア性能を有する鋼材
 - 3) 鋼板の板厚を長手方向に変化させた鋼材
 - 4) 溶接施工時に予熱温度を低減できる鋼材
 - 5) 溶接入熱量を増大しても溶接熱影響部のじん性を確保できる鋼材
 - 6) 板厚により降伏点または耐力の保証下限値が変化しない鋼材
 - 7) 塩分に対する耐食性を向上させた耐候性鋼材
- (2) 設計が指示する鋼種が入手困難等の理由により, 鋼材特性の一部が規格と一致しないものを使用せざる得ない場合は, 要求されている要求品質に対して, 同等であることを試験等によって確認することによって使用することができる.

たとえば, ミルシートをもって同等であることが確認できる場合と試験が必要な場合が想定されるが, 使用にあたっては, 設計で求める要求品質を十分明確にして, 適用する必要がある.

一般耐候性鋼材の仕様は「裸仕様」および「鍍安定化補助処理剤塗布仕様」がある. 一般耐候性鋼材および高ニッケル系耐候性鋼材が十分な耐候性の機能を発揮させるためには, 施工上の注意すべき点がある. 施工上の注意点に関する詳細は「8.3 耐候性鋼」に記載する.

鋼橋のコスト競争力強化のため、溶接性の優れた橋梁用高性能鋼材（BHS 鋼）[三木ら,2003]連盟製品規定として提案されている。この規格は、橋梁に用いられる降伏点 500N/mm^2 および 700N/mm^2 の熱間圧延鋼材であって、特に溶接性と靱性に優れたもので、鋼材の種類は BHS500, BHS500W, BHS700W について規定されている。BHS500 は実際の橋梁への適用が始まっている。板厚 $6\sim 100\text{mm}$ までの BHS500 の溶接割れ感受性組成は 0.20% 以下、降伏点は 500N/mm^2 以上、引張強さは 570N/mm^2 以上 720N/mm^2 以下、シャルピー吸収エネルギーは $100\text{J} (-5)$ 以上となっている。

鉄骨造建築物の耐震性能向上のため、建築構造用圧延鋼材（JIS G3136）が 1994 年に SN（New Structure）材として SN400A, B, C および SN500B, C の 5 種類の鋼材が規定されている。規格作成に当たり考慮された主な事項は、溶接性能の保持、塑性変形能力の保持、板厚方向の集中引張力に対する性能の保持等である。A 種は溶接を行わない部位として弾性範囲で使用される部位 B 種は JIS G 3101 および 3106 の SS400, SM400A, B, SM490A, B に代わるものとして塑性変形能力と溶接性の確保を意図し、耐震上主要な構造部材に用いるものである。C 種は B 種の性能に板厚方向の特性を絞り値で規定するとともに UT 検査が実施される。板厚方向の特性値は JIS G 3199 の Z25 クラスに規定し、対応した S 値とされている。機械的性質は鋼種区分、厚さに応じて、降伏応力度、最大引張強さに上下限、降伏比に上限、板厚方向絞り値に下限、シャルピー値の下限が設けられている。シャルピー値は JIS G 3106 の B 種のレベルとされている。炭素等量は 490 クラスで 0.44 以下（ 40mm 以下）および 0.46 以下（ 40mm 越え 100mm 以下）、溶接割れ感受性組成は 0.29 以下と規定されている。また、厚さについては原則としてマイナス側の公差は 0.3mm に統一されている。

2.4 鋼材の確認

- (1) 鋼材は、加工前にミルシートに記載された設計で要求された鋼材と相違ないことを確認するとともに、各施工段階において個々の鋼材が、材料特性を損なわない方法で識別可能でなければならない。
- (2) 鋼板厚の誤差は、設計で想定する範囲内にななければならない。
- (3) 鋼材の寸法形状、表面状況が要求品質を満足していることを確認する。鋼材が要求品質を満足していない場合は、適切な方法で、補修・矯正が行われなければならない。
- (4) 補修方法は鋼材にとって有害なものであってはならず、補修、矯正が行われた後に、形状寸法、表面状況、機械的性質が、部材としての要求性能を満たされるよう、配慮する。適切な補修方法がない場合は鋼材を使用してはならない。

【解説】

- (1) 加工前に鋼材番号を照合することにより設計で要求された鋼材であることを確認する。設計編 3.2.1 解説にある様に ISO, JIS などの規格に適合し、かつこれまでに十分な使用実績のある鋼材においては、ミルシートの鋼材番号と加工鋼材の鋼材番号の照合を行う。使用実績の少ない鋼材においては、必要な寸法、成分のばらつきなどの平均値や分布状況を確認する。鋼材の確認方法として、鋼板を階段状に並べて鋼材番号の確認や板厚測定が行われることがある。

同じ鋼構造物に多種類の鋼材が使用される場合や、他工事の材料と取り違えが生じないために、工事名称、部品番号により、大板より切断された後の製作段階においても識別可能な標記を行う。識別方法は、鋼材に損傷を与えず、かつ耐久性がある塗色表示や部品マーク等の目印により一般的に行われている。疲労強度に悪影響を及ぼす部材は、刻印によるマーキングは行ってはならない。

- (4) 鋼板の表面に有害なきずがないことを目視等で確認しなければならない。施工要領書には、鋼板の厚さの許

容値および確認方法，鋼材の表面の有害なきずの有無の確認方法，有害なきずがある場合の補修方法を明記しなければならない．鋼材のきずの種類および補修方法として，たとえば道路橋示方書には表-解 2.4.1 が示されている．補修溶接を行う場合は，必要な予熱の実施，鋼板面と同一高さに平滑に表面を上げることが必要で，また非破壊検査によって有害な表面きず，および内部きずがないことを確認する必要がある．

表-解 2.4.1 キズの種類および補修方法

きずの種類		補修方法
1	鋼材の表面きずで，あばた，かききず等範囲が明瞭なもの	グラインダー仕上げを原則とする．局部的に深いきずがある場合は，溶接で肉盛り溶接できるものとし，溶接後グラインダーで仕上げる．
2	鋼材の表面きずで，へげ，われ等範囲が不明瞭なもの	グラインダーでの除去を原則とする．板厚公差下限値より深いきずの場合は，鋼種，きず除去後の深さ，面積から，溶接肉盛りした場合のその部材への影響を考慮して，補修可否を決定する．溶接肉盛り補修後，グラインダーで仕上げる．
3	鋼材端面の層状われ	板取を工夫しても鋼板端面から板厚の 1/4 程度以下の深さのわれが残存する場合は，端面からわれを除去後，溶接肉盛り補修を行ってよい．溶接肉盛り補修後，グラインダーで仕上げる．

2.5 材料の保管

- (1) 鋼材の保管にあたっては，保管期間中に平坦度不良や表面きずの発生のほか著しい発錆等により本来保有すべき機械的性質等の特性や品質が損なわれ，施工上支障をきたし，部材としての要求性能が満たされなくなることがないように十分配慮する．また，保管中に鋼種の混同がないように配慮する．
- (2) 保管期間中にその特性や品質に影響を与えたと思われる事態が生じて，その程度を診断した結果，鋼材が要求性能を満足していない場合には，その鋼材は，害のない適切な方法で補修または矯正が行われなければならない

【解 説】

- (1) 施工計画書には，平坦度不良や表面きずが生じない，また鋼種の混同が生じない様な保管方法を明記しなければならない．
- (2) 施工計画書には，鋼材の表面の有害なきずの有無の確認方法，有害なきずがある場合の補修方法を明記しなければならない．

2.6 溶接材料に対する要求性能および保管方法

- (1) 溶接材料は設計において考慮された材料特性を満足するものを使用する．
- (2) 溶接材料は，溶接工程，溶接される材料，溶接方法に適したものを使用する．
- (3) 溶接材料の保管，乾燥条件は要求性能を損なわない，適正な方法，条件で行う．

【解 説】

- (1) 溶接材料の材料特性として考慮すべき項目として，強度，じん性，耐候性能等がある．たとえば，溶接材料の強度を例にした場合，継手形式，継ぎ合う鋼材の種類により異なる場合もある．突合せ溶接の場合は，溶接する鋼材同士の強度が同じ場合と強度が異なる鋼材を溶接する場合があり，詳細は「5.1.2 溶接材料」に

詳述する。

耐候性鋼材を溶接する場合、全て耐候性用の溶接材料が用いられることが多いが、場合によっては、外気に接する部分に耐候性の溶接材料を、外気に接しない部分は、一般鋼用の溶接材料を用いることもある。

溶接材料に関連する JIS 規格類を表-解 2.6.1 に参考として示す。溶接材料の特性を保証するため、必要に応じて、溶接材料の証明書を記録、管理する。

- (2) 溶接材料は、機械的性質、耐割れ性能、施工性、ビード形状等を配慮し、成分設計され商品化されている。溶接材料には施工性、ビード形状等を改善する結果として、および排除出来ない混入物として水素が含まれており、耐割れ性能に影響を及ぼす。鋼材の化学成分、構造物の拘束度に応じて、溶接材料の含有する水素量の低い、低水素系の溶接材料を使用するなど配慮が必要である。

シールドガスとして炭酸ガスを使用する場合、JIS K 1106 には炭酸ガスの純度(含有水分により 1 種(99.5%以上, 0.12%以下), 2 種(99.5%以上, 0.012%以下), 3 種(99.9%以上, 0.005%以下))と規定されており、道路橋示方書では 3 種を、JIS Z 3253 の附属書 4(参考)では 2 種以上を使用することが規定されている。炭酸ガスに水分が含まれているとブローホール等の原因となる場合が想定されるため、配慮が必要である。炭酸ガスの品質を保証する場合、充填素材の分析検査成績表により、成分構成を確認するのがよい。

- (3) 溶接材料は要求性能を損なわない、適正な条件とし、溶接材料メーカーの推奨条件に従って保管する。溶接材料の乾燥は、200 ~ 300 の温度で吸湿した水分を排除する工程と 100 程度の乾燥状態を維持する工程に分けられる。被覆アーク溶接棒、サブマージアーク溶接フラックスの乾燥条件は、種類、個々の製品により異なるため、溶接材料メーカーの推奨する適正な条件に従って行う必要がある。乾燥庫より出庫した後も、放置時間の管理、ポータブル保温乾燥器等を使用するなどの配慮が必要である。

表-解 2.6.1 溶接材料に関連する規格類

材料の種類	規格	
溶接材料	JIS Z 3211 (2000)	軟鋼用被覆アーク溶接棒
	JIS Z 3212 (2000)	高張力鋼用被覆アーク溶接棒
	JIS Z 3214 (1999)	耐候性鋼用被覆アーク溶接棒
	JIS Z 3312 (1999)	軟鋼および高張力鋼用マグ溶接ソリッドワイヤ
	JIS Z 3313 (1999)	軟鋼、高張力鋼および低温用鋼用アーク溶接フラックス入りワイヤ
	JIS Z 3315 (1999)	耐候性鋼用炭酸ガスアーク溶接ソリッドワイヤ
	JIS Z 3320 (1999)	耐候性鋼用炭酸ガスアーク溶接フラックス入りワイヤ
	JIS Z 3351 (1999)	炭素鋼および低合金用サブマージアーク溶接ソリッドワイヤ
	JIS Z 3352 (1988)	炭素鋼および低合金用サブマージアーク溶接フラックス
シールドガス	JIS Z 3253 (1999)	アーク溶接およびプラズマ切断用シールドガス
	JIS K 1106 (1990)	液化二酸化炭素(液化炭酸ガス)
	JIS K 1105 (2005)	アルゴン

2.7 高力ボルトに対する要求性能および保管方法

- (1) 高力ボルトは設計において考慮された材料特性を満足するものを使用する。
- (2) 高力ボルトの保管方法，保管期限はボルトメーカーの指定する条件に従って行う。

【解 説】

摩擦接合用高力ボルトおよび摩擦接合用トルシア形高力ボルトは設計において考慮された材料特性を満足するものを使用する。高力ボルトは一般にボルト，座金，ナットのセットとして規格化されている。

摩擦接合用高力六角ボルト・六角ナット・平座金のセットを規定する JIS B 1186 においては，セットの種類として，1 種（適用ボルトの等級 F8T），2 種（適用ボルトの等級 F10T），3 種（適用ボルトの等級 F11T）と定めているが，3 種はなるべく使用しないものとしている。また，ボルト製品のねじの呼び径として M12，M16，M20，M22，M24，M27，M30 を定めているが，一般に M20，M22，M24 が数多く用いられている。M24 を上回るサイズのボルトを使用する場合は「4.2 ボルトセット」が参考となる。

ボルト，座金，ナットをセットでなく，単体で購入，組み合わせて使用し，使用実績が十分でない場合は施工試験等により確認試験を行うのがよい。

摩擦接合用トルシア形高力ボルトおよび支圧接合用打込み式高力ボルトの規格は JIS 化されておらず，（社）日本道路協会規格を参考にするのがよい。また，摩擦接合用高力ボルトを耐力点工法により締め付けを行う場合は，弾性域をこえてボルトの締め付けを行うため，遅れ破壊に配慮した，耐力点工法に適した材料特性のものを使用する。

表-解 2.7.1 接合材に関連する規格類

鋼材の種類	規格		鋼材記号
接合材用鋼材	JIS B 1186 (1995)	摩擦接合用高力六角ボルト・六角ナット・平座金のセット	F8T,F10T
	JIS B 1180 (2004)	六角ボルト	強度区分 4,6,8,8,10,9
	JIS B 1181 (2004)	六角ナット	強度区分 4,8,10
	（社）日本道路協会(1983)	摩擦接合用トルシア形高力ボルト・六角ナット・平座金のセット	S10T
	（社）日本道路協会(1971)	支圧接合用打込み式高力ボルト・六角ナット・平座金のセット暫定規格-1971-	B8T,B10T

2.8 コンクリート

コンクリートは設計において考慮された材料特性を満足するものを使用する

【解 説】

コンクリート構造物の設計作業，施工計画，製造作業，施工作業，維持管理の作業の要求品質を満足する，コンクリート材料を使用する。これらを満足するものとして，「土木学会コンクリート標準示方書」を参考にするとよい。

2.9 その他の材料

防食材料，スタッド溶接用材料，普通ボルトは設計において考慮された材料特性を満足するものを使用する。

【解 説】

防食方法としては，塗装，溶融亜鉛メッキ，金属溶射等がある．材料の詳細に関しては，「8.2.2 塗料」「8.4 溶融亜鉛めっき」，「8.5 金属溶射」に述べる．関連する JIS 規格を表-解 2.9.1 に示す．

表-解 2.9.1 防食に関連する規格類

材料の種類	規格		
塗料	JIS K 5633	2種 (2002)	エッチングプライマー
	JIS K 5552	1種 (2002)	ジंकリッチプライマー
	JIS K 5623	1種 (2002)	亜酸化鉛さび止めペイント
	JIS K 5624	1種 (2002)	塩基性クロム酸鉛さび止めペイント
	JIS K 5625	1種 (2002)	シアナミド鉛さび止めペイント
	JIS K 5674	(2003)	鉛・クロムフリーさび止めペイント
	JIS K 5553	1種 (2002)	厚膜形ジंकリッチペイント
	JIS K 5551	1種 (2002)	エポキシ樹脂塗料
	JIS K 5554	(2002)	フェノール樹脂系雲母状酸化鉄塗料
	JIS K 5555	(2002)	エポキシ樹脂雲母状酸化鉄塗料
	JIS K 5664	1種 (2002)	タールエポキシ樹脂塗料
	JIS K 5516	2種 (2003)	合成樹脂調合ペイント
	JIS K 5639	(2002)	塩化ゴム系塗料
	JIS K 5657	(2002)	鋼構造物用ポリウレタン樹脂塗料
	JIS K 5659	(2002)	鋼構造物用ふっ素樹脂塗料
溶融亜メッキ	JIS H 2107	(1999)	亜鉛地金
金属溶射	JIS H 8641	(1999)	溶融亜鉛めっき
	JIS H 8300	(2005)	亜鉛・アルミニウムおよびそれら合金の溶射
	JIS H 2102	(1968)	アルミニウム地金
	JIS H 8642	(1995)	溶融アルミニウムめっき

スタッド溶接に用いる頭付きスタッドは，JIS B 1198 に軸径 13，16，19，22mm のものが規定されている（表-解 2.9.2）．道路橋示方書では軸径 19，22mm のものが標準とされている．

JIS B 1198 に示されているスタッドの化学成分，機械的性質および形状寸法を表-解 2.9.3，表-解 2.9.4，表-解 2.9.5 に示す．

表-解2.9.2 スタッドの種類

単位 mm

呼び名	呼び長さ (L)
13	80 100 120
16	
19	80 100 130 150
22	

備考1. 呼び長さ (L) は溶接後の仕上がり長さの目標値である

2. この表以外の L を必要とする場合は, 注文者が指定する

表-解2.9.3 スタッドの化学成分

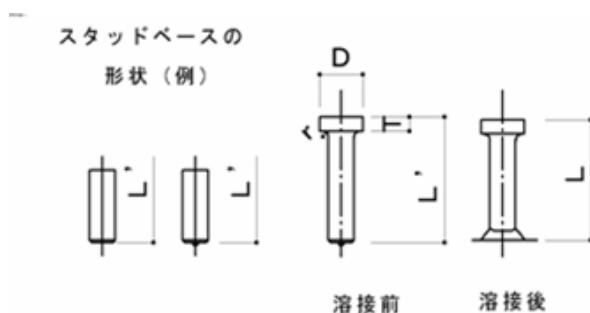
材料	化学成分%					
	C	Si	Mn	P	S	Al
シリコンキルド鋼	0.20 以下	0.15 ~ 0.35	0.30 ~ 0.90	0.040 以下	0.040 以下	-
アルミキルド鋼	0.20 以下	0.10 以下	0.30 ~ 0.90	0.040 以下	0.040 以下	0.02 以上

備考 この表の値は, とりべ分析によるものとする

表-解2.9.4 スタッドの機械的性質

降伏点又は0.2%耐力 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸び ^g %
235	400 ~ 550	20 以上

表-解2.9.5 形状、寸法およびその許容差



単位 mm

呼び名	軸径 d		頭部直径 D		頭部厚 T (最小)	首下の丸み r
	基準寸法	許容差	基準寸法	許容差		
13	13	0.3	22	0.4	10	2 以上
16	16		29			
19	19	0.4	32			
22	22		35			

備考 溶接前のスタッドベースの形状およびL(呼び長さに溶け代を含む長さである)はその許容差とともに受渡当事者間の協定による

鋼製の六角普通ボルトの種類、形状・寸法等の特性については、JIS B 1180 に、炭素鋼および合金鋼製のボルトの機械的性質は JIS B 1051 に規定されている。直径 39mm 以下のボルトの機械的性質は、呼び引張強さと最小破断伸びにより規定されており、普通ボルトとしての強度区分は 3.6, 4.6, 4.8 が規定されている。強度区分は 2 個の数値で構成され、最初の数値は、呼び引張強さを N/mm^2 で表した数値の 1/1000 の値を、2 番目の数値は呼び降伏点と呼び引張強さとの比の 10 倍の値を示す。表-解2.9.6 に JIS B 1051 に示される強度区分体系の座標表示を示す。

表-解2.9.6 六角ボルト強度区分体系の座標表示(JIS B1051)

呼び引張強さ N/mm^2	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400
7										
8										
9				6.8					12.9	
10								10.0		
12			5.8				9.8			
14						8.8				
16		4.8								
18										
20										
22			5.6							
25		4.6								
30	3.6									

最小破断伸び $A_{min}\%$

第2章の参考文献

土木学会(2008a) : 2007 制定コンクリート標準示方書【設計編】，土木学会コンクリート委員会 コンクリート標準示方書改訂小委員会

土木学会(2008b) : 2007 制定コンクリート標準示方書【設計編】，土木学会コンクリート委員会 コンクリート標準示方書改訂小委員会

日本道路協会(2002) : 道路橋示方書・同解説 鋼橋編

三木千壽，市川篤司，楠隆，川端文丸(2003) : 橋梁用高性能鋼材 (BHS500，BHS700W) の提案，土木学会論文集，(738/I-64)，I-10

第3章 鋼材加工

3.1 鋼材加工について

本章における鋼材加工とは、以下に示す各作業のことをいう

- (1) 罫書き
- (2) 切断・切削
- (3) 孔明け
- (4) 曲げ加工
- (5) 歪修正

【解説】

本章においては、鋼構造物製作過程のうち、鋼材加工について記述する。この章で記述している「鋼材加工」の範囲は、鋼材に必要な情報を記入する罫書き作業、鋼材を材料から切り離したり、鋼材そのものを分割する切断作業や鋼材端面や表面を機械的に切削する切削作業、鋼材に孔を明ける孔明け作業、鋼材を必要な形に塑性変形させる曲げ加工および鋼材の歪を矯正する歪修正作業である。一般には、鋼構造物の各部材を組立てる組立作業前に施工される作業であるが、必要に応じて部材の製作途中や製作完了後、また場合によっては、現地架設中にも施工される可能性があり、鋼構造物製作過程のあらゆる場面において適用される作業である。

3.2 鋼材加工の要求性能

鋼材加工は、設計が求める性能確保のため以下に示す方法または手法であること

- (1) 鋼材の要求性能が確保できる方法であること
- (2) 必要とされる品質・精度が確保できる方法であること
- (3) 設計図面に示されたとおりの鋼材を誤りなく組立以降の施工に供給できる方法であること

【解説】

設計で要求された性能を確保するため、鋼材加工の各施工では、以下に示すような事項に注意を払い確実に施工されることが重要である。

材料の受け取りや保管に関しては、ミルメーカー等から搬入された材料（鋼板や形鋼）が、その特性を損ねないように正しく保管されなければならない。要求事項は2章に整理されているので、本章では、先にも述べたとおり、材料に各種の加工を施す際の要求事項について記述する。

鋼材加工における重要な要求品質は、構造物として完成後、設計で要求された性能を確保するため、罫書き、切断、孔明け等々の各施工が施された各鋼材や部品の材料特性が、設計の要求値どおり確保されていることである。鋼材加工という施工に求められる要求品質で最も大切なことは、設計が期待している鋼材の性能や品質を鋼材加工における各施工で損なうことなく、適正な状態を保っておくことが出来ることである。鋼材の性能や品質には、単に鋼材の強度やじん性といった機械的性能に関する要求性能だけでなく、組立作業や最終製品において要求されている必要精度を確保するため、鋼材加工の段階で確保しておくべき精度を確保しておくことも含まれる。例えば、寸法精度として $\pm 0.5\text{mm}$ の精度が要求される部品の切断で、もしも切断作業だけではその精度が確

保できない場合、切削代を含めて必要寸法より大きく切断後、最終寸法まで機械切削を用いて切削し、必要な精度を確保するという施工を採用する場合があるが、そのように、鋼材加工の段階で必要な寸法精度を確保しておくことも鋼材加工の品質として求められる。

もうひとつ、鋼材加工に求められる大きな要求は、後の施工に対し誤りなく正しい鋼材を供給することである。図面どおりの正しい鋼材が誤りなく後の施工に確実に供給されることは、本施工段階に求められる最低限必要な要求品質である。このような品質管理上の課題に対応する事も最終製品の品質や精度を確保する上で重要な管理項目であり、本章の基本的な要求性能としている。

一般には、材料に材質やミルシート No.が残っている段階（鋼材を原板から切り離す前）において、鋼材に必要な情報（材質、ピースマーク、取り付け方向等々）を書き写し、正しい鋼材が確実に後の施工段階で誤りなく用いられるようにしていく。

同時に品質保証の観点からは必要に応じて、最終的に各鋼材がどの材料から切り取られたものであるかを記録する場合もある。主要鋼材におけるトレーサビリティの確保は、鋼材加工における品質管理上の重要事項であり、工場の品質管理体制を確認する上でも、主要鋼材のトレーサビリティが確保されているか否かは、重要な判断項目のひとつとなる。重要な部材であれば、その部材を構成する各鋼材が、設計で定めたとおりの材料から切り放たれたものであることを確認できることが望ましく、特に後の施工段階では確認が難しい材質に関しては、前述のような記録が、品質を確認しうる最低限の記録となる。

例えば道路橋示方書 [日本道路協会, 2002] では表-解 3.2.1 に示すとおり、鋼材への記入色を材質別に色分けすることを規定しているが、その主旨は、後の施工において材質の誤りをなくし、また各施工段階で各鋼材の材質が一目で判るようにするための品質管理上の規定である。また、ISO 10721-2 においても、「材料の識別」という規定があり、「製造者は部材の加工および組立に先立ち、鋼材の適切な識別方法を提示しなければならない」と記述されている。いずれの規定も、各施工段階で品質管理上重要な項目（例えば、予熱温度や加熱矯正の最高到達温度等）を製造現場で容易かつ確実に管理するために設けられた重要な規定である。

表-解 3.2.1 塗色表示による識別の標準

(a) JIS に規定された鋼材

鋼 種	識 別 色		摘 要
	色の種類	基準の色	
SS400	白	N9.5	
SM400A,SM400B,SM400C	緑	5 G 5.5/6	A,B,C の別を文字で記入
SM490A,SM490B,SM490C	黄	2.5 Y 8/12	A,B,C および TMC の別を文字で記入
SM490YA,SM490YB	だいたい	2.5 Y R 6/13	A,B および TMC の別を文字で記入
SM520C	桃色	2.5 R 6.5/8	C および TMC の別を文字で記入
SM570Q,SM570N	赤	5 R 4/13	Q,N および TMC の別を文字で記入
SMA400AW,SMA400BW,SMA400CW	緑	5 G 5.5/6	AW,BW,CW の別を文字で記入
SMA490AW,SMA490BW,SMA490CW	黄	2.5 Y 8/12	AW,BW,CW および TMC の別を文字で記入
SMA570WQ,SMA570WN	赤	5 R 4/13	WQ,WN および TMC の別を文字で記入

(b) 道路橋示方書（鋼橋編）1.6（2）項で規定された板厚により降伏点または耐力が変化しない鋼材

鋼種	識別色		摘要
	色の種類	基準の色	
SM400C-H	緑	5G5.5/6	C-H を文字で記入
SMA400CW-H	緑	5G5.5/6	CW-H を文字で記入
SM490C-H	黄	2.5Y8/12	C-H を文字で記入
SMA490CW-H	黄	2.5Y8/12	CW-H および TMC の別を文字で記入
SM520C-H	桃色	2.5R6.5/8	C-H および TMC の別を文字で記入
SM570-H	赤	5R4/13	-H および TMC の別を文字で記入
SMA570W-H	赤	5R4/13	W-H の別を文字で記入

- 注) 1) 本表は、日本鋼構造協会標準「構造用鋼材の識別表示標準 (JSS102)」による
 2) 識別色の色の種類は、JISZ8102 (色名) により、基準色は JISZ8721
 (三属性による色の表示方法) によったものである
 3) TMC: 熱加工制御鋼
 4) 板厚方向の特性を保証した鋼材は、その要求に対応する記号 'Z25' 等を文字
 で記入する

鋼材加工のガス切断、歪修正やプレス曲げ作業等は技量の習熟度により最終製品の品質が大きく異なる場合がある作業ではあるが、溶接のように技量レベルを証明する公的な資格制度はない。しかしながら、労働安全衛生の観点からは、鋼材加工の施工の中にも危険作業として規定が設けられている作業もあり、詳細は「労働安全衛生法」「労働安全衛生規則」「労働安全衛生施行令」の各法律を参照するのがよい。

3.3 罫書き

罫書きは必要な時まで記入された情報が正しく伝達でき、鋼材の品質を損なわない方法であること

【解説】

鋼材上への罫書き方法は、目的や使用する装置・器具の種類により異なる。NC 罫書き装置の場合、一般に亜鉛粉末を板表面に焼き付けて必要情報を記述し、また、その他情報は油性のペイント等を用いて板表面に罫書くのが一般的である。精度を必要とするために罫書き針を用いて板表面に傷をつけ表記する場合や、タガネやポンチを用いて鋼板上に罫書く場合もある。表面に傷をつける場合には、その鋼材が用いられる状況によっては著しくその性能を損ねる場合があり注意が必要である。例えば、疲労を考慮すべき鋼材にポンチで傷をつけるような場合は、その鋼材の疲労性能が著しく低下する可能性があり、十分な検討と配慮が必要である。

一般には疲労を考慮しなければならない鋼材に対してはタガネやポンチの使用を禁止し、傷をつけない配慮をする場合が多い。どうしても使用しなければならない場合であっても、最終的な製品の段階ではその傷を除去したり、ポンチの場合にはローストレスポンチ (先の丸いポンチ) の使用に限定したりする基準・規定が一般的である。例えば ISO 10721-2 では、刻印は衝撃や疲労を受ける部材や、塑性ヒンジの生じる範囲にある部材のように設計者が特に指定をした場合を除き使用してよいと定めており、また、道路橋示方書では、完成後も残るような場所には原則としてタガネ、ポンチ傷をつけてはならないと規定している。

一般に圧延材料の機械的性能は圧延方向とその直角方向で大きく異なると言われてきたが、近年の圧延技術の向上により、圧延方向による材料の機械的性能には大きな影響が生じなくなりつつある。近年では、罫書き段階における各鋼材の材料への配置（板取）について、特に圧延方向に配慮する必要がなくなっているが、適用される材料の性能によっては、その方向性が無視できない場合も想定されるので、そのような場合には、以下のような規定を参考にするとよい。

道路橋示方書では鋼板の圧延方向と圧延直角方向で伸びについては10%～15%、絞りについては5%～15%程度圧延直角方向が小さく、またシャルピー吸収エネルギーは圧延直角方向が圧延方向の1/2程度の値を示す場合がある、と記述されており、同示方書では、主要部材の主応力方向は、圧延方向に一致させる事を原則とすると決めている。また、AASHTOでも主要部材のウェブやフランジと引張り主部材の添接板は、主となるロール方向が引張り力や圧縮力の方向と平行になるように、切断・製作しなければならないと規定している。よって、鋼材の品質に方向性がある場合には、そのことを考慮して原板への各鋼材の配置には十分な配慮を施す必要がある。

各鋼材は原板から切り離されると、材質や圧延方向が判らなくなるので、板取りの最終段階で、これら性能に影響する情報が正しく各鋼材に転記されたことを確認することが、品質の確保上必要である。厳格な品質管理を要求される場合には、これら情報が間違いないことの記録（証拠）を残し、品質管理上のエビデンスとし、保管する必要が生じる場合がある。

3.4 切断・切削

切断・切削は作業時に生じる加熱冷却の過程で鋼材の性能を損なわず、また、最終的な必要精度を確保できる方法であること

【解説】

鋼材の切断方法は、鉄を溶融させ酸化反応の助けを得て切断する方法と機械的に切断する方法に大別される。溶融切断ではその熱源としてガス、プラズマ、またはレーザー等の各種切断方法が一般的であるが、いずれの場合も切断された鋼板が熱的な影響を受け、部分硬化により性能を損うことがないように十分配慮された手法または方法である必要がある。一般に鋼構造物の製作過程で用いられている切断の状況写真を写真-解 3.4.1～3.4.3に示す。



写真-解 3.4.1 ガス切断状況



写真-解 3.4.2 プラズマ切断状況

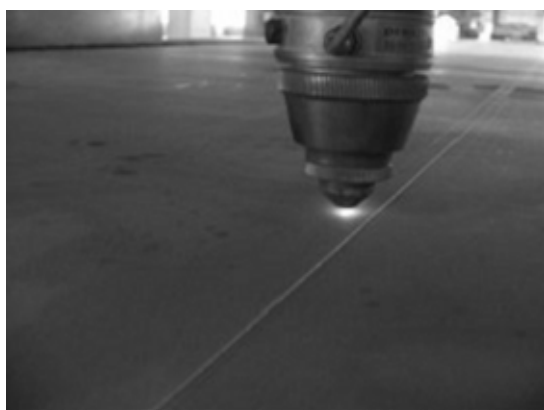


写真-解 3.4.3 レーザー切断状況

一般に用いられる鋼種・板厚では、前述の各種熱源を用いた切断の場合、大きく鋼板の性能に悪影響を与えることはないと考えられ、広く用いられているが、熱源毎の得失については、表-解 3.4.1 が参考となる。また、現在鋼構造物製作のために開発された切断装置では、切断可能板厚に限界があり、通常の構造用鋼材を切断する場合、レーザー切断の場合で 25mm 程度、プラズマ切断の場合で 40mm 程度と言われている。ガス切断は 100mm 以上の板厚でも切断可能であり、一般の鋼構造物に用いられる板厚範囲であれば、十分に切断可能であると言える。

表-解 3.4.1 切断熱源による得失

	レーザー切断	プラズマ切断	ガス切断
パワー密度	大	中	小
切断速度	中	大	小
切断溝幅	小	大	中
切断寸法精度	良	普通	悪
切断面傾斜度	良	悪	良
切断面粗さ	普通	良	普通
上縁の溶け	良	悪	普通
多本同時切断	困難	普通	容易

網掛け部分：他の切断方法より優れている項目

機械的な切断方法の場合にも切断作業時の冷却が十分施されていれば切断部分の材質劣化はさほど問題とならない場合が多い。基準によっては、切断面の硬度を規定している場合もあり、切断面の硬度上昇を生じさせない適正な手法で行われなければならない。

切断精度に対する要求性能としては、後の施工段階で品質上の問題をおこさない精度、表面粗度、切断面の直角度等々が確保できる方法である必要がある。もちろん切断だけでは、そのような精度確保ができない場合、切断面に対し切削を用いて最終的に精度の確保をするという手法も考えられるので、構造物が要求する精度から、各鋼材に求められる必要精度の確保において、切断・切削の各種方法を用いて、その精度確保をすることが重要である。道路橋示方書では切断・切削面に対し表-解 3.4.2 のような精度が求められている。

表-解 3.4.2 切断, 切削面の品質

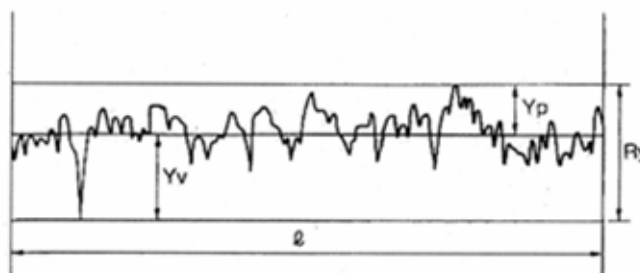
	主要部材	二次部材
最大表面あらさ i)	50 μmRy 以下	100 μmRy 以下 iii)
ノッチ深さ ii)	あってはならない	1 mm 以下
スラグ	塊状のスラグが点在し付着しているが, こん跡を残さず容易に剥離するもの	
上縁の溶け	わずかに丸みをおびているが, 滑らかな状態のもの	

注): i) 最大表面粗さとは, JIS B 0601 (1994) に規定する表面粗さの最大高さとする

ii) ノッチ深さは, ノッチ上縁から谷までの深さを示す

iii) 切削による場合には 50 μmRy 以下とする

なお, JIS B 0601(1994)に規定する最大高さ R_y とは, 「基準長さ毎の最低谷底から最大山頂までの高さ」のことであり, 図-解 3.4.1 に概念図を示す. ただし, 最新版の JIS B 0601(2001)では, 表面粗さは 10 点平均値 R_{zJIS} として規定されている.

図-解 3.4.1 R_y の概念図

機械的な切断を用いる場合には板端部に肩落ちやかえりがどうしても生じるので, その鋼材の使われる場所や要求性能を判断して使用の可否が定められる場合がある. 例えば, 道路橋示方書では, フィラー, タイプレート, 型鋼, 板厚 10mm 以下のガセットプレートおよび補剛材には機械的な切断 (せん断切断) を, はなはだしい肩落ち, かえりまたは不ぞろい等を平滑に仕上げを条件に許容している.

近年は, ISO 10721-2 のように, ガス切断や機械的な切断は, 切断縁が最高硬さや粗さの国内規準を超えない場合に許可されると品質のみを規定する基準や, AASHTO のように, 切断面の目視検査基準と手直し要領が定められており, 出来上がった切断面の品質がある一定の基準を満足すれば手法については問わないという考え方が一般的である.

最終的に鋼構造物の防錆方法として塗装が選択される場合には, 鋼板の端部でフリーエッジとなる部分の塗膜厚確保が非常に難しく, 面取り加工が要求される. 面取り加工に対する要求性能は, 構造物の種類やその鋼板が用いられる部位によって大きく異なるが, 近年では, グラインダーによる仕上げ以外に, 切削で端部を 2R や 3R に加工することが多くなっている. R 面取り加工は専用の固定式加工設備, 簡易型の機械や手動の切削機等々が用いられる. その施工例を写真-解 3.4.4 と写真-解 3.4.5 に示すので, 参考にされるとよい.



写真-解 3.4.4 簡易型R面取り機

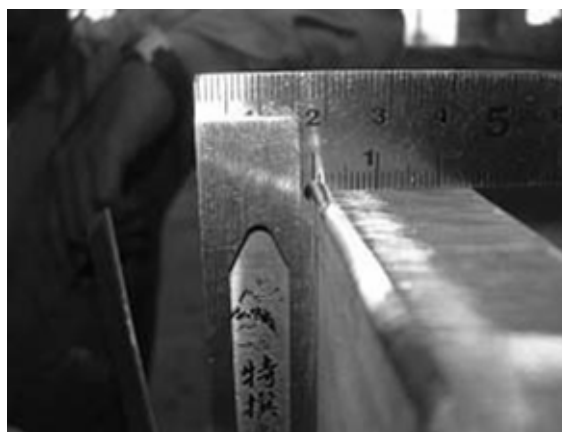


写真-解 3.4.5 R面取り後の状況

3.5 孔明け

孔明けは、孔明けされた断面の性能が最終製品の性能を損なわず、要求される精度を満足する方法であること

【解 説】

孔明けの方法としてはドリルによる機械切削的な方法やパンチ等を用いた機械的方法が一般的であるが、最近ではレーザー切断を用いる方法やガス切断を用いる場合など手法はまちまちである。切断を用いる場合には切断で求められる性能を最低限満足していなければならないが、それに加え、孔明けでは、孔内面粗度、孔径精度、孔の直角度等々孔明け独自の要求性能を満足する方法でなければならない。ボルト孔の径とボルトの呼び径の関係については設計的に考慮されるべきであり、その指示された孔径に対して一定の精度を確保しなければならない。例えば道路橋示方書では表-解 3.5.1 のような精度が求められている。

表-解 3.5.1 ボルト孔の許容値

ボルトの呼び	ボルト孔の径の許容値 (mm)	
	摩擦/引張接合	支圧接合
M20	+0.5	±0.3
M22	+0.5	±0.3
M24	+0.5	±0.3

また、ISO 10721-2 の場合には、ピン孔の加工精度として $0 \sim +0.15\text{mm}$ 以内という規定を設けており、支圧接合におけるボルト用の孔加工に対する精度は $0 \sim -0.15\text{mm}$ 以内と規定している。一方 AASHTO の場合には、 $1/32$ インチ (0.8mm) 以下という許容値が定められている。

孔明け作業の方法には、超硬ドリルをNC装置に内蔵した専用機械に装着し自動運転させる場合や、同形の部材を重ねて、ハイスドリルで重ね明けする場合など、施工方法はその対象物に応じて選択される。一般的な事例を写真-解 3.5.1 ~ 3.5.3 で示す。

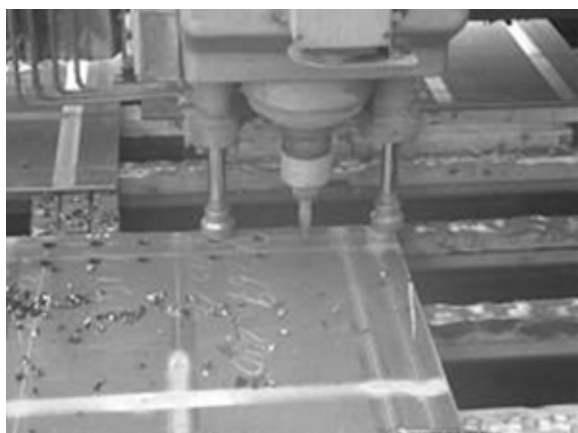


写真-解 3.5.1 NC自動装置での超硬ドリルによる孔明け



写真-解 3.5.2 ボール盤での重ね明け



写真-解 3.5.3 簡易式電動ドリルによる孔明け

押し抜きによる孔明けは、道路橋示方書では、かえりの問題を考慮し板厚 16mm 以下の二次部材に限り許容しているが、かえりを除去することを条件に板厚に関係なく、認めている場合が多い。しかしながら、近年の研究では、押し抜きによる孔明けで得られた孔は、ドリルにより孔明けされた孔よりも疲労強度が低くなるという報告があり、疲労に配慮すべき部分では十分注意が必要である。

なお、孔明け間違いによる不適合品の補修要領として溶接を用いて補修する場合は、材料の品質に大きく影響を及ぼす場合があるので、慎重にその補修要領を決定しなければならない。

3.6 曲げ加工

曲げ加工は、冷間曲げによる材料の硬化や熱間曲げによる作業中の温度により、最終製品の性能を損なわない方法であること

【解説】

曲げ加工はその手法により、冷間曲げ加工と熱間曲げ加工に大別される。冷間曲げ加工においては、材質、板

厚と曲げ半径の関係で、材料のじん性に大きな影響がある。設計が配慮すべき事項として一般にそれらの関係における基準があり、通常、構造物はその基準に則り設計されている。よって施工としては、決められた曲げ半径を守り正しく施工することが重要である。表面に傷をつけない、曲げ過ぎない、また割れ発生防止の観点からシャープエッジは事前に面取りする、曲げられる面にポンチ等の傷を残さない等々の配慮が大切である。

一方熱間曲げ加工は適用できる材質や状況に大きな制限があり、適用には十分な技術的配慮が必要である。一般には鋼材の圧延時点で熱制御されている調質高張力鋼や TMCP 鋼等への適用は禁止されている場合が多い。温度、加工速度、冷却速度は鋼材の種別に応じた適切なものとする必要があり、青熱域(290 ~ 380)における曲げ加工は避けることが望ましい。

AASHTO では、鋼材を熱間加工するときは 1200 F (649) 以下で行なうことを義務付けており、特に Grade 100,100W を熱間加工する場合は、より低温の 1125 F (607) 以下で行い、なおかつ、加工後にメーカー指定値での再焼入れと焼き戻しを義務付けている。

3.7 歪矯正

歪矯正は加熱冷却の要領や、作業の方法で最終製品の性能を損なわない方法であること

【解 説】

前節曲げ加工は、ほぼ鋼板全面が曲げ加工を受けるのに対し、鋼材の初期曲がりの矯正や溶接部近傍の歪矯正等に関して本項に記述する。

歪矯正は、プレスや簡易の油圧装置等を用いて局所的な冷間での修正作業を行う方法(写真-解 3.7.1)と、局所的な加熱、冷却(加熱矯正方法)が用いられる方法(写真-解 3.7.2)が一般的である。冷間曲げを用いる場合の注意事項は曲げ加工のところで記述しているのでその部分を参照するのがよい。加熱矯正による歪修正においては最高加熱温度、冷却速度(方法)と材質の関係で特別な配慮が必要である。道路橋示方書では一般的な鋼構造物での規定として表-解 3.7.1 に示す基準をあげている。また、ISO 10721-2 では、表-解 3.7.2 に示すような基準が設けられている。

表-解 3.7.1 線状加熱時の鋼材の表面温度および冷却法

鋼種	鋼材表面温度	冷却法
調質鋼(Q)	750 以下	空冷または空冷後 600 以下で水冷
熱加工制御鋼 (TMC)	Ceq > 0.38	空冷または空冷後 500 以下で水冷
	Ceq ≤ 0.38	加熱直後水冷または空冷
その他の鋼材	900 以下	赤熱状態からの水冷を避ける

表-解 3.7.2 線状加熱時の鋼材の表面温度および冷却法

鋼種	鋼材表面温度
調質鋼(Q)	590 以下または、鋼材の焼き戻し温度より 20 低い温度のいずれか低い方
その他の鋼材	650 を超えてはならない



写真-解 3.7.1 プレス矯正(縦リブ)



写真-解 3.7.2 加熱矯正

歪矯正のもうひとつの方法として薄板を中心に打撃法が用いられる場合がある。しかしながら、打撃法は板表面に傷を付ける可能性が多く、また、範囲可能板厚が非常に薄いことから認められない場合が多い。

第3章の参考文献

日本道路協会(2002): 道路橋示方書・同解説, II 鋼橋編

ISO (1999): ISO10721-2 INTERNATIONAL STANDARD “Steel Structures Part2 Fabrication and erection”

労働安全衛生法 (2006): 法律第 50 号

労働安全衛生施行令 (2007): 政令第 375 号

労働安全衛生規則 (2008): 厚生労働省令第 32 号

AASHTO(2002): STANDARD SPECIFICATIONS for HIGHWAY BRIDGES 17th Edition Division II CONSTRUCTION

フレッシュマン講座,産報出版 HP, http://www.sanpo-pub.co.jp/omoshiro/freshman/post_384.html

三木 千寿・森 猛・稲沢 秀行・中村 賢造(1989):「押し抜きせん断加工孔を用いた高力ボルト摩擦接合継手の疲労強度」,
土木学会論文集 No 410 号/I-12,p345-350

第4章 高力ボルト接合

4.1 要求性能および継手の種類と特性

- (1) 高力ボルト継手は、完成後の継手が設計で定めた要求性能を満足するように施工しなければならない。
- (2) 高力ボルト継手は、荷重伝達の機構から、「摩擦接合」、「支圧接合」、「引張接合」の三つに分類して適用する。

【解説】

(1)高力ボルト継手は、架設現場で鋼部材を接合する際に最も多く用いられる接合法である。高力ボルト継手に使われるボルトはその名の通り、高強度のボルトであり、大きな軸力（降伏ボルト軸力またはその付近）を導入して使用するのが一般的であり、かつ特徴的である。

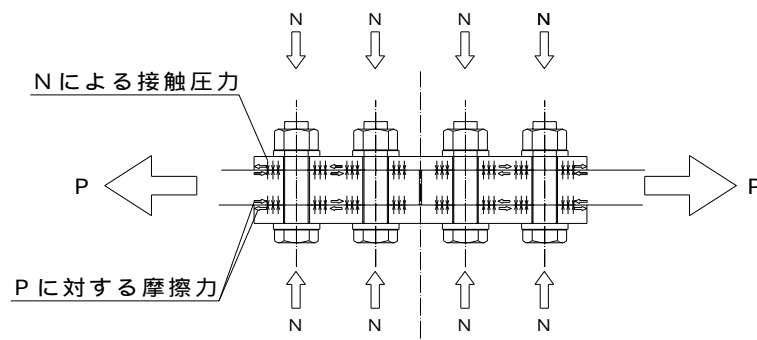
高力ボルト継手は、荷重伝達の機構から、ボルト軸と直角方向の作用力を伝達する「摩擦接合」と「支圧接合」、およびボルト軸と同じ方向の作用力を伝達する「引張接合」の三つに分類される。

「摩擦接合」は、高力ボルトで母板を連結板により締付け、それらの間に生じる摩擦力によって荷重を伝達する継手形式である。

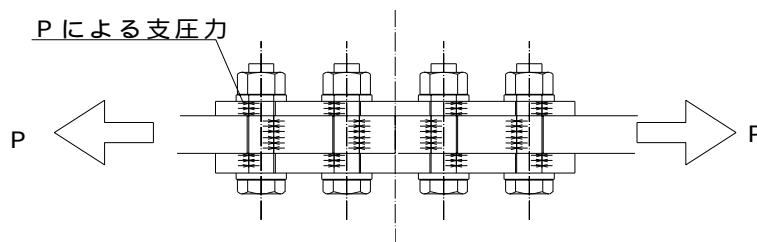
「支圧接合」は、ボルト円筒部（軸部）のせん断抵抗および円筒部（軸部）とボルト孔壁との間の支圧力によって抵抗し、荷重を伝達する継手形式であり、リベット継手と同様な荷重伝達機構を有する。支圧接合では、ボルトに摩擦接合の場合と同等の高い軸力を与えて継手性能の改善を図ることも可能である。支圧接合は我が国の鋼構造物での使用実績は多くはないが、近年では、疲労亀裂を有する鋼製の橋脚の隅角部の補修・補強工事（あて板補強）に用いられるなど、有効な接合法の1つとして注目されている。

「引張接合」は、高力ボルトで締付けられた材片間に生じた接触力と作用力とがつりあって荷重を伝達する継手形式であり、接合面間に発生させた接触力により作用力の伝達を行うことは摩擦接合と同じであるが、伝達すべき作用力はボルト軸方向に作用し、作用力の増加分と接触力の減少分とがつり合って作用力を伝達する。引張接合は、接合面を有する2枚の板を高力ボルトにより直接締付ける短締め形式と接合面を有する2枚の板を直接締付けずに、リブプレートを通じて、高力ボルトや鋼ロッド・PC鋼棒で締付ける長締め形式とがある。作用力が主として接触力の減少とつり合うという基本的なメカニズムは短締め形式でも長締め形式でも同一である。一般に短締め形式と長締め形式とは、リブプレートを通じて作用力を伝達するか否かで分類される。また、摩擦接合では荷重にともなうボルト軸力の増加はほとんどないが、引張接合では荷重にともない、短締め形式か長締め形式かによっても異なるが、ボルト軸力が増加する。

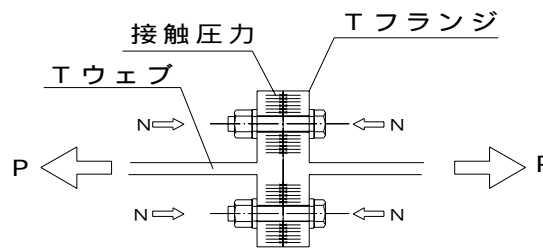
図解 4.1.1 に高力ボルト接合の種類と作用力の伝達メカニズムの概要を示す。



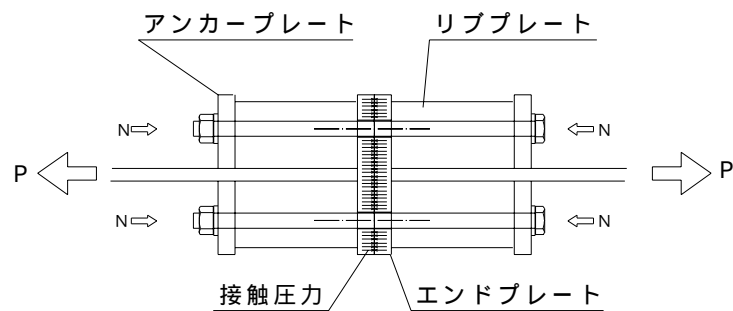
(a) 摩擦接合



(b) 支圧接合



短縮め形式



長縮め形式

(c) 引張接合

図-解 4.1.1 高力ボルト接合の種類と荷重伝達メカニズム

(2) 水密性に直接関係する部分の高力ボルト継手に対しては、水の浸透によるすべり係数の変化、高力ボルトの腐食、遅れ破壊等を考慮し、原則として使用しない。ただし、やむを得ず使用する場合には、使用箇所・使用

条件に応じた水密性が得られ、高力ボルト接合の安全性を保持できる配慮が必要である。また、水密性に関係のない場所でもボルトの錆の発生に対する配慮が必要である。

(3)各接合方式の採用にあたっては、部材の連結部としての所定の性能が満足されるよう、適用箇所、施工性および接合面の状態等について十分な検討を行う。特に接合面の状態などは施工に大きく左右されるので十分な配慮が必要である。

4.2 ボルトセット

4.2.1 摩擦接合継手

摩擦接合継手に用いる高力ボルト、ナット、平座金のセットには以下に示す品質・性能が要求される[田島, 1972], [日本規格協会(1995)]。

- ・ 継手としての耐力を確保するために、必要な摩擦抵抗を生じさせるボルト軸力を確実に導入できること。
- ・ 所定のボルト軸力を確実に長期間保持すること。
- ・ 施工期間および供用期間において、防錆等の腐食に対する配慮を有すること。
- ・ 作用に対して高力ボルトセットが破壊せず（脆性破壊、延性破壊、疲労破壊、特に遅れ破壊）、安全に使用できること。
- ・ ボルト締付け方法（施工方法）が簡易で、導入軸力が容易に確認できること。

【解説】

(1)要求性能

摩擦接合に用いる高力ボルトセットの品質としては、すべり耐力を保持できる所要の締付け力を与え得る強さ、施工時の締付け力の場合によっては降伏点を超える高応力になることもあるのでそれに耐え得ること、施工および締付け後の衝撃的な外力に対して十分なじん性を有すること、高応力が作用しても長期間破断せず、安全であることが要求される。特に、高力ボルト、ナット、座金それぞれに対しての品質・性能の他に、セットとしての品質・性能が求められていることに注意しなければならない。

ナットの機械的性質については、組み合わせるボルトを締付けた時にねじ抜けがないように、硬さの範囲と保証荷重を定める。座金は、ボルトに高い締付け力を安定して与えるのに重要な役割を果たしている。座金の機械的性質としては、締付け時に座金にボルト頭やナットによるめり込みが生じないように、座金をボルト・ナットよりも若干硬く、しかも締付け時に割れないことが要求される。

ボルト、ナット、座金の材料とその加工方法は、日本規格協会、日本道路協会、日本鋼構造協会の高力ボルト関連規格においても特に規定されていない。これは所要の性能を発揮するのに適した材料、加工方法の選択を自由にし、より優れた製品の開発を促したものである。

また、耐火上の問題から焼戻し温度の限度、寒冷地などにおける脆性破壊に対する配慮、遅れ破壊の問題など、使用条件に応じてさらに考慮しなければならない品質・性能があるので注意しなければならない。

(2) ボルトの種類

橋梁や建築鋼構造物の摩擦接合に用いられている高力ボルトには、施工性の向上や鋼材の多様化などに対応して、高力六角ボルト、トルシア形高力ボルト、溶融亜鉛めっき高力ボルト、防錆処理高力ボルト、耐候性鋼高力ボルト（ニッケル系高耐候性高力ボルトを含む）、耐火鋼高力ボルト、超高力ボルト、ステンレス鋼高力ボルト、ワンサイドボルト、六角頭トルシア形高力ボルトなどがある。表-解4.2.1に代表的な高力ボルトの強度と呼び径、およびその規格・基準、表-解4.2.2に現在用いられているボルトの種類と準拠する規格、認定機関を示す。

表-解 4.2.1 代表的なボルトの強度と呼び径

高力ボルトの種類	強度			ボルトの呼び径	規格・基準
	ボルト	ナット	座金		
高力六角ボルト	F8T	F10	F35	M12,M16,M20,M22, M24,M27,M30	JIS B 1186
	F10T			M27,M30,M36	本州四国連絡橋公団
トルシア形高力ボルト	S10T	F10	F35	M20,M22,M24	日本道路協会
				M16,M20,M22,M24	日本鋼構造協会
溶融亜鉛めっき 高力ボルト	F8T	F10	F35	M12,M16,M20,M22, M24,M27,M30	JIS B 1186

表-解 4.2.2 高力ボルトとして用いられるボルトの種類

ボルトの種類		準拠する基準類又は承認機関
高力六角ボルト		JIS B 1186「摩擦接合用高力六角ボルト・六角ナット・平座金のセット」 HBS B 1101 本州四国連絡橋公団 「摩擦接合用太径高力六角ボルト・六角ナット・太径平座金のセット規格(案)」
高力トルシア形ボルト		(社)日本道路協会「道路橋示方書・同解説」 「摩擦接合用トルシア形高力ボルト・六角ナット・平座金のセット」 (社)日本鋼構造協会「JSS 09」「構造用トルシア形高力ボルト・六角ナット・平座金のセット」
溶融亜鉛 めっき高力 ボルト	六角	JIS B 1186「摩擦接合用高力六角ボルト・六角ナット・平座金のセット」 F8T相当の機械的性質、 JIS H 8641「溶融亜鉛めっき」2種 HDZ 55 に溶融亜鉛めっき性能
防錆処理	六角 トルシア形	HBS B 1102 本州四国連絡橋公団 「摩擦接合用防錆高力ボルト・六角ナット・平座金のセット暫定規格」
耐候性	六角 トルシア形	JIS B 1186「摩擦接合用高力六角ボルト・六角ナット・平座金のセット」 (社)日本道路協会「道路橋示方書・同解説」 「摩擦接合用トルシア形高力ボルト・六角ナット・平座金のセット」 (社)日本鋼構造協会「JSS 09」
ニッケル系 高耐候性	六角 トルシア形	「構造用トルシア形高力ボルト・六角ナット・平座金のセット」に機械的性質は準拠
超高力	トルシア形	大臣認定を取得
耐火鋼 (FR鋼)	六角 トルシア形 溶融亜鉛 めっき六角	常温時の機械的性質 JIS B 1186「摩擦接合用高力六角ボルト・六角ナット・平座金のセット」 (社)日本鋼構造協会「JSS 09」「構造用トルシア形高力ボルト・六角ナット・平座金のセット」 国土交通省、日本建築センターにおいて、建築基準法・建築基準法施工令を遵守し耐火設計 を行い、大臣認定を受ける必要がある。
ステンレス	六角	JIS B 1186「摩擦接合用高力六角ボルト・六角ナット・平座金のセット」に機械的性質 SSBS 301 ステンレス構造建築協会規格「構造用ステンレス鋼高力六角ボルト」
取は外し可能な仮設用 トルシア高力ボルト		大臣認定又は機械的性質は(社)日本道路協会、(社)日本鋼構造協会の規格に準拠
ワンサイドボルト		大臣認定を取得

1) 高力六角ボルト

高力六角ボルトは、JIS B 1186「摩擦接合用高力六角ボルト・六角ナット・平座金のセット」[日本規格協会, 1995]に基づきボルト1個、ナット1個、座金2個を1セットとして製造され、現在、呼び径 M16 から M30 が使用されている。(写真-解 4.2.1)

ボルト、ナットおよび座金の等級の組合せを表-解 4.2.3 に示す、1種、2種、3種の3種類の高力ボルトセットが規定されているが、3種の F11T はかっこ付きの表記となっており、なるべく使用しないことになっている。高力ボルトの機械的性質を表-解 4.2.4、表-解 4.2.5 に示す。これらの性質は製品から採取する試験片 (JIS4号試験片) や製品の引張試験により確認される。ナットと座金の機械的性質を表-解 4.2.6、表-解 4.2.7 に示す。

また、本州四国連絡橋公団(現、本州四国連絡高速道路株)では、HBS B 1101「摩擦接合用太径高力六角ボルト・

太径六角ナット・太径平座金のセット規格(案) [本州四国連絡橋公団, 1992]において, F10T 等級の呼び径 M27, M30, M36 を規定し, 太径高力ボルトも使用可能としている. 本州四国連絡橋の下津井瀬戸大橋や檀石島橋の桁部材などに F10T 等級の呼び径 M30 の使用実績がある [奥川ら, 1991].

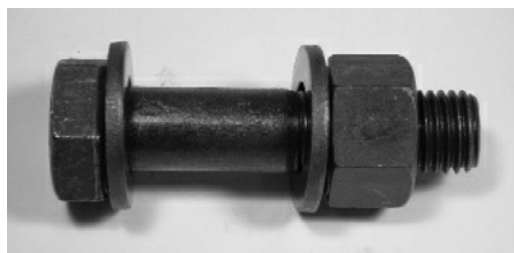


写真-解 4.2.1 高力ボルトセットの例

表-解 4.2.3 高力ボルトセットの種類と等級

セットの種類		適用する構成部品の機械的性質による等級		
機械的性質による種類	トルク係数値による種類	ボルト	ナット	座金
1 種	A	F 8T	F10 (F 8)	F35
	B			
2 種	A	F10T	F10	
	B			
(3 種)	A	(F11T)		
	B			

備考 表中括弧をつけたものは, なるべく使用しない.

表-解 4.2.4 ボルト試験片の機械的性質

ボルトの機械的性質による等級	耐力 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸び %	絞り %
F 8T	640以上	800 ~ 1000	16以上	45以上
F10T	900以上	1000 ~ 1200	14以上	40以上
F11T	950以上	1100 ~ 1300	14以上	40以上

表-解 4.2.5 ボルト製品の機械的性質

ボルトの機械的性質による等級	引張荷重 (最小) (kN)							硬さ
	ねじの呼び							
	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30	
F 8T	68	126	196	243	283	368	449	18 ~ 31 HRC
F10T	85	157	245	303	353	459	561	27 ~ 38 HRC
F11T	93	173	270	334	389	505	618	30 ~ 40 HRC

表-解 4.2.6 ナットの機械的性質

ナットの機械的性質による等級	硬さ		保証荷重
	最小	最大	
F8T	85HRB	100HRB	ボルトの引張荷重 (最小) に同じ
F10T	95HRB	35HRC	

表-解 4.2.7 座金の硬さ

座金の機械的性質による等級	硬さ
F35	35 ~ 45HRC

2)トルシア形高力ボルト

トルシア形高力ボルトは、頭部が丸頭でボルト先端部に締付けレンチの反力を受けるピンテール部があり、ボルト1個、ナット1個、座金1個を1セットとして使用する。セットの種類・等級は、1種類、1等級であり、セットを構成するボルト、ナットおよび座金の機械的性質は表-解 4.2.8 に示すように、それぞれ高力六角ボルトと同じである。

道路橋においては、(社)日本道路協会の「摩擦接合用トルシア形高力ボルト・六角ボルト・平座金のセット」[日本道路協会, 1983]を満足する F10T 等級の呼び径 M20、M22、M24 が、建築分野[日本建築学会, 2001]においては(社)日本鋼構造協会の JSS 09「構造用トルシア形高力ボルト・六角ボルト・平座金のセット」[日本鋼構造協会, 1996]を満足し、大臣認定を取得したボルト M16、M20、M22、M24 が使用をそれぞれ許可されている。これらの規定では JIS B1186 に規定された 1 種、2 種の内 2 種の F10T に相当する S10T を規定している(写真-解 4.2.2)。



写真-解 4.2.2 トルシア形高力ボルトセットの例

表-解 4.2.8 トルシア形高力ボルトセットの種類

セットの構成部品	ボルト	ナット	座金
機械的性質による種類	S10T	F10	F35

備考 表のセットは JIS B1186 (摩擦接合用高力六角ボルト・六角ナット、平座金のセット) で規定する“機械的性質による種類”の 2 種に相当する。

3)溶融亜鉛めっき高力ボルト

溶融亜鉛めっき高力ボルトのセット(ボルト1個、ナット1個、座金2個)に関する規格は JIS に存在しない。一般には、表-解 4.2.9 に示すセットで構成されており、JIS B 1186 の F8T と同等の品質を有するものを実用に供している。建築分野においては大臣認定を取得して製作したものが使用されている。

溶融亜鉛めっき高力ボルトの強度等級が F8T (1 種) であるのは、製造工程において強度を発現するために熱処理(焼入・焼戻)を実施しており、めっき浴槽の温度が F10T の熱処理温度より高いことと、耐遅れ破壊特性への影響が考慮されているためである。

表-解4.2.9 溶融亜鉛めっき高力ボルトセットの種類と等級

セットの構成部品	ボルト	ナット	座金
機械的性質による種類	F 8T	F10	F35

備考 表のセットはJIS B1186（摩擦接合用高力六角ボルト・六角ナット，平座金のセット）で規定する“機械的性質による種類”の1種に，“トルク係数の種類”のAに相当する。

4) 耐候性鋼高力ボルト（ニッケル系高耐候性高力ボルトを含む）

耐候性鋼から構成される部材の接合には、耐候性鋼高力ボルトを使用する。耐候性鋼高力ボルト用材料は一般の高力ボルト用材料の他に、Cr, Ni, Cu 等が適量添加されている。

耐候性鋼高力ボルトのセットは、ボルト、ナット、座金とともに同種の耐候性鋼を使用しており、形状寸法、機械的性質、トルク係数値などの諸特性については高力ボルト（高力六角ボルト、トルシア形高力ボルト）の規格を満足する。

飛来塩分量が多く一般の耐候性鋼が使用できない海浜海岸地帯においても、裸使用および錆安定化処理により使用できるニッケル系高耐候性鋼が開発されており、これに使用できる高力ボルトも製造されている。

5) 超高力ボルト

これまで、高力ボルトは遅れ破壊の危険性に対する配慮から、板材などの高強度化とは一線を画し、より高強度なボルトの開発は積極的には行われてこなかった。しかしながら、部材の大型化、部材を構成する材料の高強度化の流れの中で、高力ボルトについてもその高強度化が求められている。高力ボルトの高強度化は、ボルト本数の低減による工期短縮など、製作・架設コストの低減にも貢献すると期待される。

超高力ボルトは、これまでの高力ボルト(S10T)の約1.5 倍の耐力を有するトルシア形超高力ボルトである[窪田ら, 2003]。高力ボルトの高強度化を図る上で最大の技術課題は遅れ破壊の克服である。高力ボルトの遅れ破壊は、腐食によりボルト中に浸入した水素がねじ部などの応力集中部に集積し、その結果、集積部が脆化することで発生した亀裂が成長して起こる。超高力ボルト(SHTB)は超高力ボルトの中で最も早く製品化されたものであり、遅れ破壊発生プロセスに着目し、耐遅れ破壊特性に優れた素材で構成するとともに、応力集中を緩和できる新しいねじ形状とボルト形状の採用により遅れ破壊の問題を克服したとしている。表-解4.2.10に超高力ボルトの諸元をSHTBを例に示す。物質・材料研究機構、土木研究所、建築研究所、民間企業が連携した超鉄鋼プロジェクト[平岡, 2002]の中でも、強度約2 倍の超高強度ボルトの開発が行われており、開発されたボルトを用いた摩擦接合継手の試験などが行われている。

表-解4.2.10 超高力ボルトの諸元の例 (SHTB)

項目/呼び径		SHTB16	SHTB20	SHTB22	SHTB24	SHTB30	
機械的性質	ボルト SHTB ^{*2)}	耐力 σ_y	1,260 N/mm ² 以上				
		引張強さ	1,400 ~ 1,490 N/mm ²				
		伸び	14%以上				
		絞り	40%以上				
		硬さ (HRC)	39 ~ 47				
		最小引張荷重(kN)	229	359	442	516	817
	ナット SS50 ^{*2)}	硬さ (HRC)	30 ~ 40				
		保証荷重(kN)	ボルトの最小引張荷重に同じ				
	座金NSW20B ^{*2)}	硬さ (HRC)	40 ~ 50				
	ねじ有効断面積 A_e (mm ²)		164	256	316	369	584
設計ボルト張力 N (kN) ^{*1)}		155	242	299	349	552	
1製造ロットの 締付け軸力	平均値(kN)	161 ~ 193	252 ~ 302	311 ~ 373	363 ~ 435	575 ~ 589	
	標準偏差(kN)	12 以下	19 以下	23.5 以下	27.5 以下	43.5 以下	
塗膜厚 (アンチラストSHTB のみ)		20 μ m 以上					

*1) 設計ボルト張力 $N = \sigma_y \cdot A_e$

σ_y : 降伏点に対する比率 (0.75), σ_y : ボルト耐力 (1,260 N/mm²), A_e : ねじ有効断面積

*2) 機械的性質の欄の SHTB, S50, NSW20B はそれぞれボルト, ナット, 座金の材料規格である.

4.2.2 支圧接合継手

支圧接合継手に用いる高力ボルトセットには以下に示す品質・性能が要求される.

- (1) 作用に対して高力ボルトセットが破壊せず (脆性破壊, 延性破壊, 疲労破壊, 特に遅れ破壊), 安全に使用できること.
- (2) 施工期間および供用期間において, 防錆等の腐食に対する配慮を有すること.
- (3) 確実にボルト孔に挿入できること (打ち込み式タイプ)
- (4) ボルト締付け方法が簡易で, 導入軸力が容易に確認できること (軸力導入タイプ).

【解説】

(1) 要求性能

支圧接合に用いる高力ボルトは, 「4.1 要求性能および継手の種類と特性」で述べた支圧接合の荷重伝達メカニズムを踏まえ, 打ち込み式高力ボルト (打ち込み式タイプ) と摩擦接合用高力六角ボルトや摩擦接合用トルシア形高力ボルトをそのまま準用したもの (軸力導入タイプ) の2種類が考えられる.

支圧接合に用いる高力ボルトセットの品質としては, 十分なせん断耐力を有し, 長期間破断せず, 安全であることが要求される. 打ち込み式タイプについては, さらに, 確実に施工できるといった施工性も要求される.

軸力導入タイプの場合, 「4.2.1 摩擦接合継手」に規定されているボルトセットを用いることができる. この場合, ボルト孔とボルト円筒部 (軸部) との間に隙間があるため, 接合部が支圧状態に至るまでにずれが生じる. 道路橋示方書 [日本道路協会, 2002] では, 接合部のこのような変形は好ましくないと考え, 打ち込み式高力ボルトを用いることを標準とし, 支圧接合用打ち込み式高力ボルト, 六角ナット, 平座金暫定規格 (1971) [日本道路協会, 1971] によるとしている. 鋼構造協会においても, 打ち込み式タイプである打込式高力ボルト・六角ナット・平座金のセットについて日本鋼構造協会規格 [日本鋼構造協会, 1981] として規定されている. いずれも, 摩擦接合用高力ボルト

トの規格である JISB1186 に基づいて決定されている。

(2)ボルトの種類

打ち込み式タイプについては支圧接合用打ち込み式高力ボルトが、軸力導入タイプについては摩擦接合用高力ボルトがそれぞれ用いられる。

支圧接合用打ち込み式高力ボルトは、写真-解 4.2.3 に示すように、軸部に凹凸が設けられているのが特徴である。ボルトヘッドの形状により、六角頭、丸頭、皿頭の3種類の形状がある。支圧接合用打ち込み式高力ボルト、六角ナット、平座金のセットが暫定規格で規定されるセットの種類および等級を表-解 4.2.11 に示す。

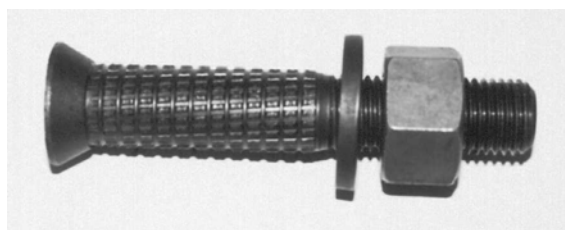


写真-解 4.2.3 支圧接合用打ち込み式高力ボルト（皿頭）

表-解 4.2.11 支圧接合用打ち込み式高力ボルトセットの種類と等級

セットの種類	適用する構成部品の機械的性質による等級の組合せ		
	打ち込み式高力ボルト	高力六角ナット	高力平座金
2種	B8T	F8	F35
4種	B10T	F10	

4.2.3 引張接合継手

引張接合継手に用いる高力ボルト、ナット、平座金のセットには以下に示す品質・性能が要求される。

- (1) 継手としての耐力を確保するために、材間に接触力を生じさせるボルト軸力を確実に導入できること。
- (2) 所定のボルト軸力を確実に長期間保持すること。
- (3) 施工期間および供用期間において、防錆等の腐食に対する配慮を有すること。
- (4) 作用に対して高力ボルトセットが破壊せず（脆性破壊、延性破壊、疲労破壊、特に遅れ破壊）、安全に使用できること。
- (5) ボルト締付け方法（施工方法）が簡易で、導入軸力が容易に確認できること。

【解説】

高力ボルト引張接合は、摩擦接合同様に、高力ボルトに導入される高い軸力によって生じた接触力を介して荷重を伝達する。そのため、締結材である高力ボルトに要求される事項は、摩擦接合用高力ボルトのそれと基本的に同じである。

橋梁用高力ボルト引張接合設計指針[日本鋼構造協会,2004]では、これまでの使用実績も考慮し以下のように規定している。

短締め形式に用いるボルトは、摩擦接合に用いる高力ボルトを標準としている。ただし、引張接合の特性を最大限有効に活用する配慮から第1種の高力ボルトは除いている。また、トルシア形高力ボルトを用いる場合、ボルト頭部側にも座金を用いることを原則としている。

長締め形式に用いるボルトは、その特性上、市販の高力ボルトでは継手が構成できない場合が想定され、高力ボルトと同等材質の鋼ロッドの使用も認めている。ただし、炭素鋼や合金鋼の両端をねじ加工する場合、ボルトの遅れ破壊や疲労破壊に配慮して、強度区分 10.9 以下のものを用い、ねじ形状についても十分検討しなければならないとしている。

4.3 部材の加工と精度

4.3.1 ボルト孔

- (1) 高力ボルトの孔の加工にあたっては、ボルトが無理なく挿入でき、ボルト挿入時にねじ山を傷めないように孔明けの精度を確保する必要がある。また、孔明け加工が材片の密着を阻害することがないように、必要に応じて孔周辺の処理を行う。
- (2) 部材の組み立てにあたっては、孔の加工と同様にボルトが無理なく挿入でき、ボルト挿入時にねじ山を傷めないように、組み立て時の精度を確保する必要がある。

【解 説】

鋼板の孔明けには、ドリルによる方法と押し抜きせん断による方法がある。リーマ通しを併用する場合を含め、原則としてドリルを用いるのがよい。また、孔明け加工に NC 穿孔機を使用しない場合は、孔明けの精度を確保するため、原則として型板を使用するものとする。なお、孔明け加工時に孔周辺に生じたまくれ(写真-解 4.3.1)は、材片の密着を阻害し、ボルトの首部分に割れが生じる原因の一つともなるので、グラインダー等で削り取る。

(1) 孔周縁のまくれ処理

ドリルによる孔明けでは、穿孔条件(ドリルの材質、回転速度、送り速度、鋼材の重ね合わせ等)やドリルの使用時間(刃先の磨耗状態)によってその大きさは異なるが、孔の表裏面にまくれが生じる。

押し抜きせん断による孔明けでは、ポンチ入側に肩落ちが、ポンチ出側(ダイス側)にまくれが生じる。さらに、写真-解 4.3.2 に示すとおり押し抜きせん断による孔は、孔径はポンチ入側に比べ、ポンチ出側で若干大きくなる、孔壁面はせん断面と破断面に分けられるが、せん断面には板厚方向に浅いポンチの条痕が生じる、せん断面およびせん断面と破断面の境界付近に微小な割れが生じるなどの特徴がある[三木ら,1989]、[日本鋼構造協会,1987]。道路橋示方書[日本道路協会,2002]では孔の周辺の材質をいためることを理由に、押し抜きせん断による孔明けは板厚 16mm 以下の二次部材に限定して認められている。

まくれの処理は、ディスクグラインダーや面取りドリルなど人力による機械的な除去方法が一般的である(写真-解 4.3.3,4.3.4)。近年では、面取りチップ搭載ドリル(写真-解 4.3.5)による孔明けと面取りの同時施工や、連結板など比較的小物部品の板こぼおよび孔面を対象とした自動面取り装置も実用化されている。



写真-解 4.3.1 孔周縁のまくれ

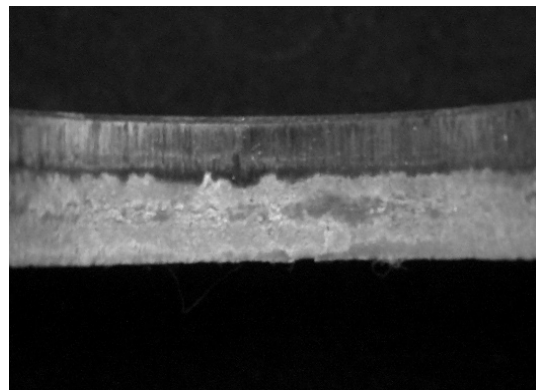


写真-解 4.3.2 せん断孔の孔壁 (t=9mm)

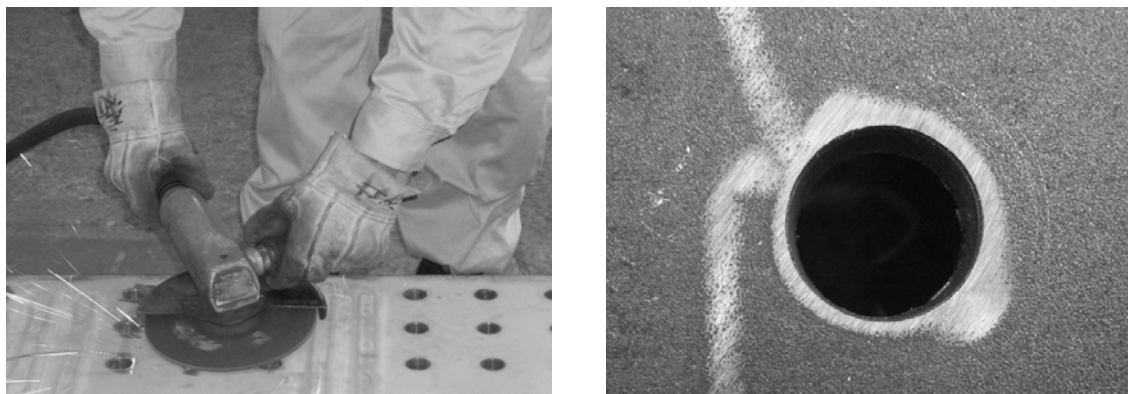


写真-解 4.3.3 ディスクグラインダーによるまくれ処理

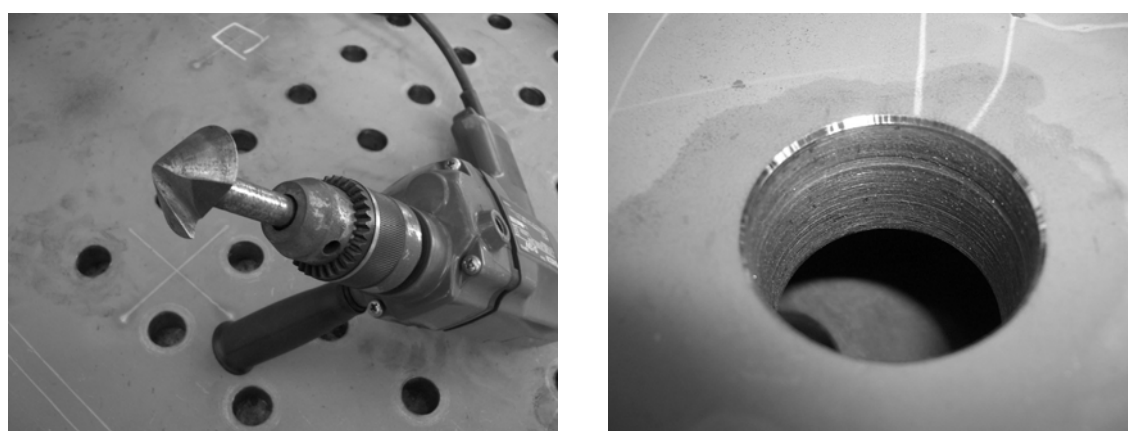


写真-解 4.3.4 面取りドリルによる孔面取り

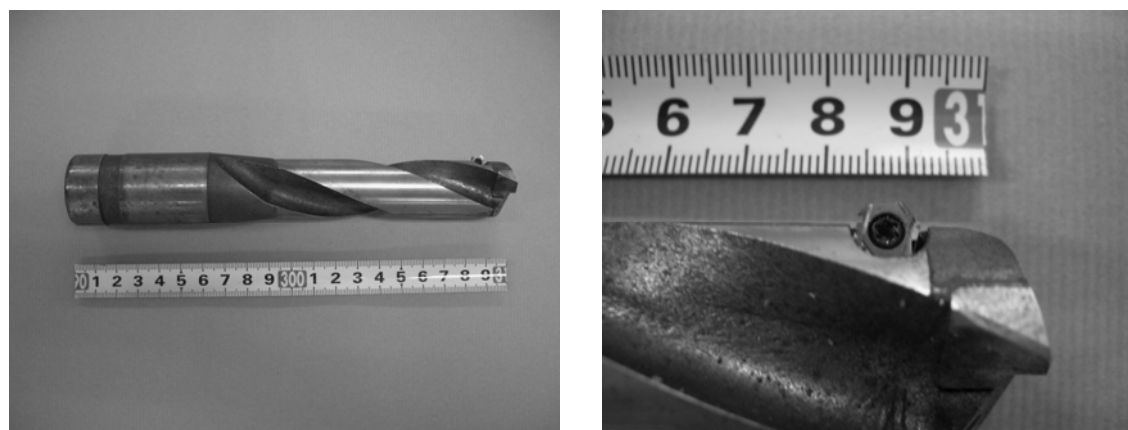


写真-解 4.3.5 面取りチップ搭載ドリル

(2) ボルト孔径と許容値

摩擦接合におけるボルト孔径およびその許容値は表-解 4.3.1 に示す値を標準とする。

表-解 4.3.1 摩擦接合における標準ボルト孔径と許容差

ボルトの呼び	標準ボルト孔径 (mm)	孔径の許容差(mm)
M20,M22,M24	呼び径+2.5	+0.5mm
M27,M30,M36	呼び径+3.5	+1.0mm

なお、以下のように施工上やむを得ない場合には、標準ボルト孔径+2mm までの拡大孔を設けて対処した実例が多い。

- 1) 部材を組み合わせた状態にしてリーミングを行うことが難しい場合
 - a) 箱形断面部材の縦リブ継手
 - b) 鋼床版橋の縦リブ継手
- 2) 架設・組立の方法により、仮組立時と架設・組立時の部材に対する応力状態が異なる場合
 - a) 鋼床版橋の主桁と鋼床版を取付ける縦継手

また、大ブロック架設を行う鋼桁の現場継手など架設時におけるボルト継手部の孔合わせ時の誤差吸収が標準孔では困難なケースで、使用するボルトの呼び径 d の 2.5 倍までの長さを有する長孔（スロット孔）を拡大孔と併用する場合がある。

長孔の加工方法は孔の長さによって異なり、並列する 2 個のドリル孔を切削加工して長孔を形成する方法や、薄板材片に対して長孔型パンチを用いて押し抜く方法などが用いられている。

拡大孔と長孔の孔寸法および形状については、諸外国における設計規準（ECCS，BS5400，AASHTO）では、表-解 4.3.2 に示すように規定されている。なお、拡大孔を用いた場合のすべり耐力については、国内の検討報告によれば、摩擦面の表面処理を適切に行い、かつ、母板および連結板の降伏よりもボルトのすべりが先行する条件では、標準ボルト孔径+2.0mm までの拡大孔についてすべり係数の差異は微小であると考えられる[田中ら，1998]，[鋼橋技術研究会，2002]，[森ら，2005]。また、長孔については、孔の幅や長さによってはすべり係数やボルト軸力のリラクセーションに及ぼす影響等について注意を要する場合がある。なお、これらの拡大孔や長孔に関する知見の多くは、高力六角ボルトのセットを対象とした実験および数値解析の結果によっている。そのため、トルシア形高力ボルトを拡大孔や長孔に適用する場合には、十分な検討が必要である。

表-解 4.3.2 諸外国におけるボルト孔形状の規定

規 定	孔の種類	ボルト孔の大きさ (mm)	
ECCS	標準孔	d + 2	(d < 24)
		d + 2	(d = 24)
		d + 3	(d > 24)
	拡大孔	d + 4	(d < 24)
		d + 6	(d = 24)
d + 8		(d > 24)	
短い長孔	標準孔径×(拡大孔 + 2(以内))		
長い長孔	標準孔径×2.5d(以内)		
BS5400	標準孔	d + 2	(d < 24)
		d + 2	(d = 24)
		d + 3	(d > 24)
	拡大孔	d + 5	(d < 24)
		d + 6	(24 ≤ d ≤ 27)
		d + 8	(d > 27)
	短い長孔	標準孔径×(拡大孔 + 1(以内)) (d < 24)	
標準孔径×(拡大孔 + 2(以内)) (d = 24)			
標準孔径×(拡大孔 + 2(以内)) (d > 24)			
長い長孔	標準孔径×2.5d(以内) (d < 24)		
	標準孔径×2.5d(以内) (d = 24)		
	標準孔径×2.7d(以内) (d > 24)		
AASHTO	標準孔	d + 1.6	(d = 22.2)
		d + 1.6	(d = 25.4)
		d + 1.6	(d = 28.6)
	拡大孔	d + 4.8	(d = 22.2)
		d + 6.3	(d = 25.4)
		d + 7.9	(d = 28.6)
	短い長孔	標準孔径×(拡大孔 + 1.6) (d = 22.2)	
標準孔径×(拡大孔 + 1.6) (d = 25.4)			
標準孔径×(拡大孔 + 1.6) (d = 28.6)			
長い長孔	標準孔径×2.5d (d = 22.2)		
	標準孔径×2.5d (d = 25.4)		
	標準孔径×2.5d (d = 28.6)		

注) d : ボルトの公称軸径 (mm)

引張接合におけるボルト孔径は、摩擦接合におけるボルト孔径とその許容値を標準とする。ただし、長締め形式において、摩擦接合用高力ボルトを用いない場合には、「4.3.1 ボルト孔」を満足するような孔径とする。橋梁用高力ボルト引張接合設計指針[日本鋼構造協会, 2004]では、ボルト径+5mm 程度の余裕を設けると規定している(ただし、孔径の許容値は示されていない)。

支圧接合におけるボルト孔径は、用いる高力ボルトの種類により異なる。打ち込み式高力ボルトを用いる場合、ボルト孔径については、ボルト軸径と等しいものとし、打ち込み作業の難易も考慮して、工作上許容できる限界を精度として規定している。さらに、打込みの作業性(打ち込み難易度)や、ボルト孔周縁の傷、被接合材の厚さと打込み強さ、ボルト孔の大きさと食い違いなどの部材精度について十分検討しなければならない。摩擦接合用高力六角ボルトや摩擦接合用トルシア形高力ボルトを用いる場合、ボルト孔とボルト軸との隙間をできるだけ

小さくし、すべりが生じても接合部のずれが小さくなるように配慮しなければならない。

道路橋示方書[日本道路協会, 2002]では、打ち込み式タイプに対し、表-解 4.3.3 に示す値を標準ボルト孔径とし、孔径の許容差も規定している。鉄道構造物等設計標準[鉄道総合技術研究所, 2000]では、道路橋示方書で規定される標準ボルト孔径よりもさらに 0.3mm 小さいものを標準ボルト孔径としている。

表-解 4.3.3 支圧接合における標準ボルト孔径と許容差（打ち込み式タイプ）

ボルトの呼び	標準ボルト孔径 (mm)	孔径の許容差(mm)
M20,M22,M24	呼び径+1.5	±0.3mm

組み立て時のボルトの孔ずれは、締結材である高力ボルトの挿入を困難にし、ねじ山を痛めたりする可能性がある。そのため、道路橋示方書では孔のずれに関する上限値を 0.5mm と定めている(支圧接合の場合)。

また、表-解 4.3.4 に示すようにボルト孔の貫通率および停止率を定め、接合部としての組み立て精度を確保している。

表-解 4.3.4 ボルト孔に対するゲージの貫通率および停止率

	ねじの呼び	貫通ゲージの径(mm)	貫通率 (%)	停止ゲージの径(mm)	停止率 (%)
摩擦/引張 接合	M20	21.0	100	23.0	80 以上
	M22	23.0	100	25.0	80 以上
	M24	25.0	100	27.0	80 以上
支圧接合	M20	20.7	100	21.8	100
	M22	22.7	100	23.8	100
	M24	24.7	100	25.8	100

(3)ボルト孔の傾斜角

鉄道構造物等設計標準[鉄道総合技術研究所, 2000]では、ボルト孔の傾斜角の許容値として、 $1/20$ 以下としている。

4.3.2 フィラー

高力ボルト摩擦接合継手部で連結される母板間の板厚差に対処するために用いるフィラーには、以下のような品質・性能が要求される。

- (1) 継手部における所要の摩擦抵抗を確保するために、母板や連結板の接合面と同等の表面処理を有すること。
- (2) 材質および板厚の選択において、継手部の応力伝達以外に防錆・防食上の配慮を有すること。

【解 説】

フィラーの材質については既往のすべり耐力試験より、荷重伝達性能上は一般構造用圧延鋼材のフィラーを用いても問題ないことが確かめられている[宮崎ら, 1998], [寺尾ら, 1997], [亀井ら, 1997]。ただし、母板が耐候性鋼材の場合には防錆・防食上から原則として同種の鋼材とするなど、継手部の応力伝達以外の要因から材質が制限される場合があるので注意を要する。

フィラーの板厚については、現状では厚い側の母板の板厚の $1/2$ 程度を限度とする考え方が一般的である。文献[水口ら, 1998]では、厚い側の母板の板厚が 50mm で薄い側の母板の板厚を 38~25mm、フィラーの板厚を 12

～25mmとした、すべり先行型2列および4列配置のボルト継手を対象としたすべり試験の結果から、フィラーが継手部のすべり耐力に与える影響は無視できるほど小さいことが確かめられている。なお、板厚が25mmを大きく上回るような極厚のフィラーが継手部の荷重伝達やすべり挙動に及ぼす影響については検討が必要と考えられる。また、板厚が2mmを下回るような極端に薄いフィラーは、継手の密着性の低下や腐食等の原因になりやすいと考えられるのでなるべく使用を避けるのがよい。

すべり係数の向上を目的としたフィラーの高摩擦化に関する実験的検討も行われており[久保ら, 2004], そのようなフィラーの利用も考えられる。

4.3.3 ティーフランジの初期形状

高力ボルト引張接合におけるティーフランジの初期形状は、ボルト締付け時にてこ反力によるボルト軸力の増加がおきないように配慮しなければならない。

【解 説】

高力ボルト引張接合では、ティーフランジをティーフランジウェブに完全溶け込み溶接で接合し、接合部を構成するのが一般的である。この場合、溶接によるティーフランジの変形が発生する。接合面が、ボルトを締付けない状態でTフランジ先端にすき間が生じる形状の場合（図-解 4.7.1）にはてこ反力が減少するが、反対にTウェブ直下にすき間の生じる形状の場合（図-解 4.7.2）には、てこ反力が増加するという報告がある[黒田ら, 1992]。橋梁用高力ボルト引張接合設計指針では、これらを踏まえ、図-解 4.7.1 に示す許容できる初期変形を規定している。

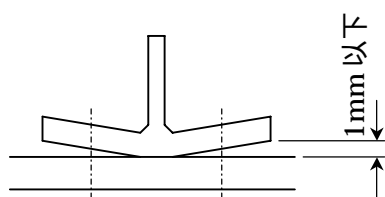


図-解 4.7.1 許容できるフランジの形状

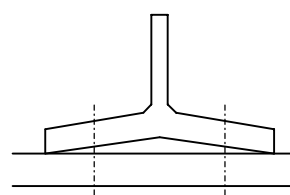


図-解 4.7.2 許容できないフランジの形状

4.4 接合面の処理

4.4.1 摩擦接合

高力ボルト摩擦接合部の接合面は設計で想定したすべり係数となるよう、適切に接合面の処理を行わなければならない。

【解 説】

高力ボルト摩擦接合は、ボルトの締付け軸力によって生じる部材間の摩擦力を利用するものであり、接合部に十分なすべり耐力を持たせるためには、ボルト軸力の管理と同様に接合面の処理について十分な配慮が必要である。実際の施工では、接合面にグラインダー処理やブラスト処理を行って発錆させたり、防錆を目的とした塗装を施したりしている。

従来、黒皮（ミルスケール）を除去した粗面状態の接合面では0.40以上の十分なすべり係数が得られることがよく知られている。特に土木分野においては、道路橋示方書・同解説に示されるように接合面の処理は粗面を基本として塗装を行ってはならないとされてきた。しかし、プライマー付きの鋼材の使用が増加していること、

構造物の大型化や接合面の処理（浮き錆の処理や清掃）の省力化や、継手部が塗装の弱点となりやすいという欠点があったため、昭和55年改訂の道路橋示方書・同解説[日本道路協会，1980]から、0.4以上のすべり係数を得られることを確認できた場合に限り、接合面に塗装等を施してもよいとされた。

諸外国の設計基準では、接合面の処理状態に応じて複数のすべり係数が規定されている[秋山ら，1991] [西村ら，2001]，[杉谷ら，2003]ものが多いが、国内の橋梁関係の基準類においては、道路橋示方書・同解説などに示されるように、接合面の状況に応じたすべり係数の設定はされていない。しかし、これまでに様々な接合面の処理によるすべり係数の実験的検討がなされ、接合面処理によっては基準値（0.40）を超えるすべり係数を得たものも少なくない。また、近年、塗料の技術開発も特に進んでおり、0.40を超えるすべり係数を確保できる塗料も確認されてきている。そこで土木学会高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針（案）[土木学会，2006]では接合面の処理状態に応じた標準的なすべり係数を提示している。

4.4.2 支圧接合

高力ボルト支圧接合部の接合面は、耐久性に配慮し、適切に処理を行わなければならない。

【解 説】

高力ボルト支圧接合部では、基本的には、ボルト導入軸力によってもたらされる接触力に起因する摩擦抵抗を期待しない。そのため、高力ボルト摩擦接合同様な接触面処理を必要としない。ただし、支圧接合における継手性能の改善を目的として支圧接合用ボルトに軸力を導入し、摩擦力による荷重伝達を期待する場合は、「4.4.1 摩擦接合」に示す高力ボルト摩擦接合に対する接合面処理を行わなければならない。また、耐久性を確保するために、必要であれば防錆処理などの表面処理を行わなければならない。

4.4.3 引張接合

高力ボルト引張接合部の接合面は、耐久性に配慮するとともに、ボルト導入軸力による接触力が均一に分布するように、適切に処理を行わなければならない。

【解 説】

高力ボルト引張接合の接合面は、ボルト導入軸力による接触力が均一に分布するように平滑でなければならない。ただし、その荷重伝達機構から、接触面における摩擦抵抗を期待しないため、摩擦接合同様な接合面の処理は必要としない。接合部に引張力と同時にせん断力が作用する場合において、高力ボルト摩擦接合としての荷重伝達を期待する場合には、接合面に摩擦接合同等のすべり係数が要求される。この場合、要求されるすべり係数に応じた接合面処理を行わなければならない。

高力ボルト引張接合では作用力によって材間の接触力が減少し離間が発生する場合があります。耐久性を考慮し、接合面には防錆処理を施すことを標準とする。この場合、塗膜厚の不均一、塗膜の経年変化による接触力の不均等化やボルト軸力の低下が起らないように配慮する。

橋梁用高力ボルト引張接合設計指針[日本鋼構造協会，2004]では、接合面の離間の可能性、溶接組み立てによる初期変形を考慮して、厚膜型ジンクリッチペイントを塗布することを標準としている。また、特に、長締め形式については、断面が大きい部材の接合に用いられることが多いことから、同指針では、平坦性に配慮し、機械切削加工処理（50s程度）を行うことを原則としている。

4.5 ボルトの締付け

4.5.1 締付け方法と締付けボルト軸力

高力ボルトの締付けにあたっては、所定の設計ボルト軸力が得られるように適切な方法を用いて締付ける。

【解 説】

(1)ボルトの締付け方法

高力ボルトの締付け方法には、一般に次に示す方法が用いられる。

トルク法

ナット回転法

耐力点法

トルク法

1) 高力六角ボルト

トルク法による高力六角ボルトの締付けは、ボルト軸力と締付けトルクの比例関係を利用して締付け機の締付けトルクを制御することにより、所定の締付けボルト軸力を保証する工法である。締付けトルクは式(4.5.1)で表される。

$$T = k \cdot d \cdot N \quad (4.5.1)$$

T : ナットの締付けトルク

k : トルク係数値

d : ボルトの呼び径

N : 締付けボルト軸力

この式から明らかなように、トルク係数値は高力ボルトの締付け軸力を正確に導入するために極めて重要な要素である。したがって、ボルトセットは工場出荷時および現場搬入後のトルク係数値のばらつきが少なく、締付け調整時と施工時の温度変化によるトルク係数値の変動が少ないことが必要である(表-解4.5.1)。

表-解4.5.1 高力六角ボルトセットのトルク係数値[日本道路協会, 2002]

1 製造ロットの出荷時のトルク係数値の平均値	0.110 ~ 0.160
1 製造ロットの出荷時のトルク係数値の変動係数	5%以下
1 製造ロットのトルク係数値の平均値の温度による変化量	20 の温度変化に対して、出荷時のトルク係数値の平均値の5%以内

なお、セットのトルク係数値はナットをまわして締付けた場合について定められているので、ボルトの締付けはナットをまわして行うのが原則である。施工上やむを得ずボルト頭をまわす場合は、改めてその値を確認する必要がある。なお、トルク係数値を減じるために表面処理を行った座金を用いる場合は、それを回転させる側に用いるように注意しなければならない。

2) トルシア形高力ボルト

トルシア形高力ボルトを使用する場合は、専用の締付け機を用いるものとする。トルシア形高力ボルトの締付け機のソケット部は、ナットとピンテールを保持する2個のソケットからなる。外側のソケットは、ナットを保持して締付けトルクを与え、内側のソケットは、ピンテールを保持して締付けトルクの反力を伝達する構造である。両方のソケットは、互いに逆方向に回転し、締付けトルクが、破断溝の破断トルクに達して切断するまで

ソケットが回転する。

ナット回転法[日本橋梁建設協会，1998]

高力ボルトを締付ける場合の回転量とボルト軸力の関係は、図-解 4.5.1 に示すように母板と連結板が密着した後、ナットの回転量が 90° ないしは 120° まで直線的に上昇し、その後、遊びねじ部での塑性が始まる。

ボルトの締付けをナット回転法によって行う場合は、接触面の肌すきがなくなる程度にトルクレンチで締めた状態あるいは組立用スパナで力いっぱい締めた状態（スナッグタイト）から、ナットを次に示す規定の角度まで回転させて所定のボルト軸力を導入する。ただし、ナット回転法は F8T のみに用いるものとする。

- ・ボルト長が径の 5 倍以下の場合：1/3 回転（ 120° ） $\pm 30^\circ$
- ・ボルト長が径の 5 倍を越える場合：施工条件に一致した予備試験によって目標回転角を決定する。

ナット回転量 120° でボルトを締付けた場合、通常、設計ボルト軸力の標準値に対して 1.4 倍程度の締付けボルト軸力が得られ、ボルトねじ部は若干塑性領域に入っている。橋梁における高力ボルト摩擦接合で、ナット回転法が認められているのは F8T のみである。F10T も F8T と同様な変形特性を示すが、遅れ破壊に対する実験データの不足によりナット回転法の適用は F8T に限定されている。

なお、薄板における単せん断継手など締付け板厚が小さくなる場合、締付け板厚が大きい場合に比べて小さい回転角度でボルトの塑性が始まる。したがって、このような場合のナット回転角度は、マイナス側の締付け角度で管理することが好ましい。

耐力点法

締付け時のボルト軸力は、図-解 4.5.1 に示すように弾性域ではナット回転量と比例関係にあり、これを越えるとその関係は変化する。耐力点法は、ボルト軸力がボルト耐力（0.2%耐力）に達したことを専用レンチで電氣的に検知し、導入軸力の制御を行う方法である。導入軸力が耐力点に達するので、遅れ破壊防止の観点からボルト材料の化学成分、硬さ、焼き戻し温度が規格値を満足している必要がある[日本橋梁建設協会，1999]。

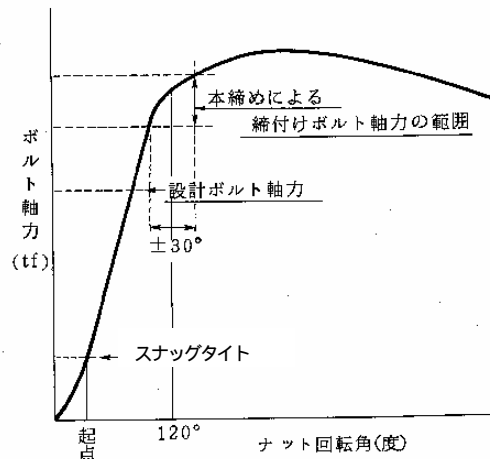


図-解 4.5.1 ボルトの軸力とナットの回転角

トルク法，耐力点法およびナット回転角法の特徴を表-解 4.5.2 にまとめる．

表-解 4.5.2 ボルトの締付け方法の比較

締付け方法	特徴	締付け機	主な適用対象
トルク法	締付け時のボルト軸力と締付けトルクが線形関係にあることを利用し，締付けトルクを制御する方法． 締付けは弾性域で終了する（耐力点法よりも導入軸力は小さい）． 毎日現場予備試験を行い，出力調整した締付け機を用いる必要がある．	締付けトルクを制御できる締付け機	実績が多い． 太径ボルトには向かない．
耐力点法	締付け時のボルト軸力とナット回転角の關係に注目している．弾性域ではボルト軸力とナット回転角は線形關係にあり，これを超えると非線形關係を示す．この非線形關係となる開始点の近傍（ボルト耐力の近傍）を電氣的に検知して締付けを完了する方法． 締付けは弾塑性域で終了する（トルク法に比べて 10 から 20% 高めの軸力が導入される）． ボルト個々の耐力を電氣的に検知していることから導入軸力のばらつきが少なく，セットのトルク係数值などに影響されにくい．	耐力点を電氣的に検知できる専用の締付け機	太径ボルト 厚膜型ジンクリッチペイントを用いた部材接合に有利．
ナット 回転角法	接触面の肌すきがなくなる程度にトルクレンチで締めた状態あるいは組立用スパナで力いっぱい締めた状態（スナッグタイト）から，ナットを規定の角度まで回転させて締付ける方法． 締付け軸力は，トルク法，耐力点法に比べて最も高く，ボルト耐力を超える（塑性域）． ナットの回転角を管理することから施工管理が容易であり，専用の締付け機を必要としない		F8T，B8T を対象

高力ボルト引張接合では，接合部に作用する引張力によってボルト軸力が初期に導入した軸力よりも増加することが避けられないことから，初期ボルト軸力が弾性範囲内にあるトルク法で締付けることを原則としている．長締め形式については，高力ボルトを使用しない場合もあることから，トルク法以外に引張ジャッキによる方法を採用してもよい．引張ジャッキによる方法は，PC 鋼棒の緊張などで使用される方法と原理は同じであり，ナットを回した際に生じるボルト軸部のねじりがないことから長締め形式においては最も信頼性の高い方法といえる．長締め形式において，トルク法によりボルト軸力を導入する場合は，ボルトの軸部が長くなるため，ねじりによるトルク係数の変化を確認しておく必要がある[日本鋼構造協会，2004]．

(2) 締付けボルト軸力

締付けボルト軸力は，設計ボルト軸力を十分確保するために施工時に目標とすべき導入ボルト軸力であり，締付け方法が異なれば，締付けボルト軸力も異なり，それに対応して管理方法も異なる．したがって，高力ボルトの締付けにあたっては，選択した締付け方法に対応した締付けボルト軸力が導入されるように適切な方法で管理しなければならない．締付けボルト軸力は，標準ボルト軸力と呼ばれることも多い．

トルク法における締付けボルト軸力

トルク法における締付けボルト軸力は、設計ボルト軸力の 10%増しを標準とする。これは、トルク係数値のばらつき、クリープやリラクゼーション等の影響を考慮したものである。表-解 4.5.3 に高力六角ボルトのトルク法における締付けボルト軸力の標準値を示す。

表-解 4.5.3 高力六角ボルトのトルク法による締付けボルト軸力の標準値

セット	ねじの呼び	設計ボルト軸力 (kN)	締付けボルト軸力 (kN)
F8T	M20	133	146
	M22	165	182
	M24	192	211
	M27	245	270
	M30	305	336
	M36	444	488
F10T	M20	165	182
	M22	205	226
	M24	238	262
	M27	310	341
	M30	379	417
	M36	551	606

トルシア形高力ボルトの締付けボルト軸力

トルシア形高力ボルトの締付けは、専用締付け機がトルクを制御する機能をもたないので、ボルトの性能により締付け軸力が左右される。したがって、工場出荷時において締付けボルト軸力の平均値が一定の範囲に入っていることを確認するとともに、工場出荷時から現場施工時までにその性能が保持されていることを確認しなければならない。トルシア形高力ボルトの常温時(10~30)の締付けボルト軸力は、一つの製造ロットから 5組の供試セットを無作為に抽出して試験を行い、その平均値が所定のボルト軸力の範囲に入らなければならない。表-解 4.5.4 は、常温時におけるトルシア形高力ボルトの締付けボルト軸力範囲の一例について示したものである。

表-解 4.5.4 トルシア形高力ボルトの常温時(10~30)の締付けボルト軸力の平均値

セット	ねじの呼び	設計ボルト軸力の標準値(kN)	1製造ロットのセットの締付けボルト軸力の平均値(kN)	備考
S10T	M20	165	172~202 (103~122%)	日本道路協会 道路橋示方書
	M22	205	212~249 (103~121%)	
	M24	238	247~290 (104~122%)	
	M27	310	322~388 (104~125%)	国土交通省 大臣認定
	M30	379	394~474 (104~125%)	

注：表中()内数値は、設計ボルト軸力に対する締付けボルト軸力の比率を示す。

なお、現場での締付けボルト軸力試験では、試験に用いる検査機器の機能上の制約から、あらゆる首下長さのボルトに対して試験を行うことが困難な場合がある。このような場合には、使用ボルトと同じ製造メーカーから同一時期に現場搬入され、かつ、同一の保管環境に置いた呼び径の等しいボルトのうちから試験可能な首下長さのボルトを抽出して締付け試験を実施し、工場出荷時の性能が現場搬入後においても保持されていることを確認することで使用ボルトの性能を保証してもよい。

ボルトのトルク係数値は温度によって変化するので、締付けボルト軸力も変化する。常温時以外(0 ~10 , 30 ~60)で試験を実施した場合のトルシア形高力ボルトの締付けボルト軸力範囲の一例を表-解4.5.5に示す。

表-解4.5.5 トルシア形高力ボルトの常温時以外(0 ~10 , 30 ~60)の締付けボルト軸力の平均値

セット	ねじの呼び	設計ボルト軸力の標準値(kN)	1製造ロットのセットの締付けボルト軸力の平均値(kN)	備考
S10T	M20	165	167~211 (101~128%)	日本道路協会 道路橋示方書
	M22	205	207~261 (101~127%)	
	M24	238	241~304 (101~128%)	
	M27	310	310~406 (100~131%)	国土交通省 大臣認定
	M30	379	379~496 (100~131%)	

注：表中()内数値は、設計ボルト軸力に対する締付けボルト軸力の比率を示す。

耐力点法による締付けボルト軸力

耐力点法によって締付ける場合の締付けボルト軸力については、使用する締付け機に対して一つの製造ロットから5組の供試セットを無作為に抽出して試験を行い、その平均値が所定のボルト軸力の範囲に入らなければならない。表-解4.5.6は、本州四国連絡橋公団(現：本州四国連絡高速道路株式会社)における耐力点法によるボルト締付け軸力の範囲を示したものである[本州四国連絡橋公団, 1989]。

表-解4.5.6 耐力点法による締付けボルト軸力の平均値(本州四国連絡橋公団)

セット	ねじの呼び	判定式	A_{be} (mm ²)	1製造ロットのセットの締付けボルト軸力の平均値(kN)
S10T	M20	$\sigma_y \times A_{be} \times 0.80 \leq N \leq \sigma_y \times A_{be} \times 0.90$	245	$0.196\sigma_y \sim 0.221\sigma_y$
	M22		303	$0.242\sigma_y \sim 0.273\sigma_y$
	M24		353	$0.282\sigma_y \sim 0.318\sigma_y$
	M30	$\sigma_y \times A_{be} \times 0.85 \leq N \leq \sigma_y \times A_{be} \times 0.95$	561	$0.477\sigma_y \sim 0.533\sigma_y$

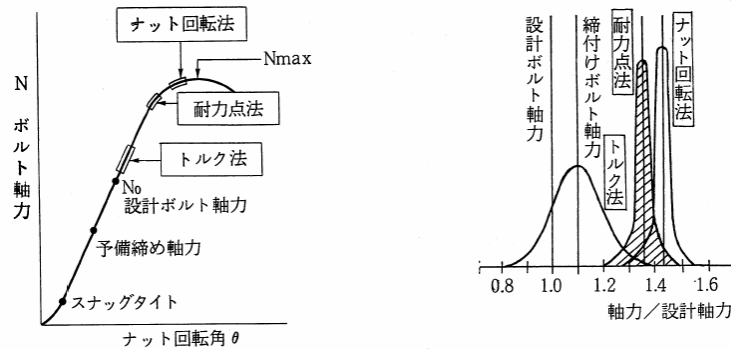
σ_y : ボルト試験片の耐力 (JIS 4 号試験片による)

A_{be} : ねじ部の有効断面積 (JIS B 1082 による)

ナット回転法によるボルト締付け軸力

なお、ナット回転法によって締付ける場合は、ナットの回転量によってはボルトの降伏点を越えた軸力が導入される。これは、トルク法による締付けボルト軸力よりもさらに10%程度高い軸力となる。

図-解4.5.2に各締付け方法による締付け軸力を比較した模式図を示す。

図-解 4.5.2 施工法による締付け軸力の比較²⁾

4.5.2 施工手順

高力ボルトの締付けは、接合部で十分な密着が得られるような締付け手順で行う。

【解説】

継手の外側からボルトを締付けると連結板が浮き上がり、密着性が悪くなる傾向がある。この場合、継手内のボルト軸力が不均等となりすべり耐力が低下する可能性もある。したがって、ボルト群の締付けは、接合面の密着度を高めるよう、できるだけ均一に締付けることとし、締付け作業が適正に行われるように、図-解 4.5.3 に示すとおり連結板の中央のボルトから順次端部ボルトに向かって行う。また、1 回で所定の軸力まで締付けると最初に締付けたボルトが緩む傾向にあるので、予備締めと本締めの 2 回に分けて締付けるのを原則とする。

高力ボルトの締付け作業ごとの留意点は次のとおりである。

(1) 高力ボルトのセット

高力ボルトの締付け作業に先立って、接合部へボルトをセットする。まず、仮ボルトがセットされている部分を除き、明いている孔全てに高力ボルトを差込み、端から順にスパナで十分に締付ける。その後、仮ボルトをはずし、高力ボルトを挿入して締付ける。ボルト取り付けの際、ボルトねじ部を傷つけたり、ごみが付着したりしないよう注意する。

(2) 予備締め

接合面が十分に密着していない状態で、高力ボルトの締付けを行うと、最初に締付けたボルトがゆるむ傾向にある。これを防止する観点から予備締めを実施する。予備締めは、小型のトルクレンチが専用の締付け機を用いて目標トルクが得られるように実施する。トルク法や耐力点法に基づく本締めを行う場合には、予備締めの軸力が締付けボルト軸力の 60%程度となるように締付けを行うのがよい。

なお、ナット回転法の場合には、高力ボルトセット後に接触面の肌すきがなくなる程度にトルクレンチで締めた状態、あるいは組立用スパナで力いっぱい締付けた状態(スナッグタイト)がナット回転角の原点となるため、トルク法や耐力点法に基づく予備締めとは異なる。

(3) マーキング

予備締めが終了した後、ボルト全数にマーキングを行う。マーキングは、予備締めが終了していることを示すと同時に、本締め終了後の締付け検査に利用する。マーキングは白マジックなどを用いて図-解 4.5.4 に示すようにボルトねじ部、ナット、座金、連結板にかけて印をつける。マーキングは、本締めの方法(トルク法、ナット回転法、耐力点法)に関係なく、共通の手順として実施する。

(4) 本締め

高力ボルトの締め付け方法には、「4.5.1 締め付け方法と締め付けボルト軸力」の解説に示すとおり、トルク法、ナット回転法、耐力点法などが挙げられる。各締め付け方法に応じた適正な締め付け機器を用いて、所定の締め付けボルト軸力が導入されるように本締めを行う。

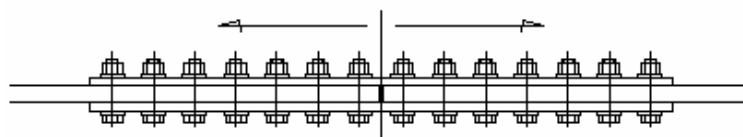


図-解 4.5.3 ボルトの締め付け順序

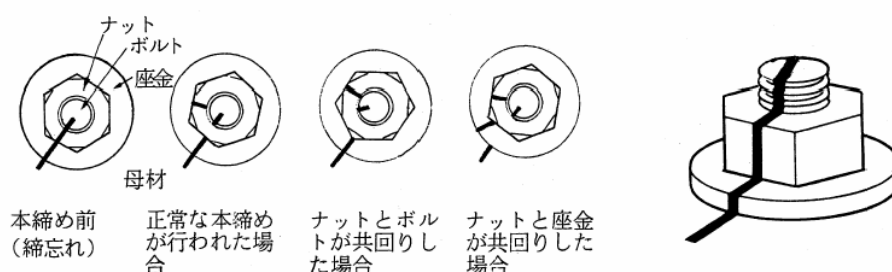


図-解 4.5.4 高力ボルトのマーキング

4.5.3 締め付け完了後の検査

- (1) 締め付け後のボルトは、所定の締め付けがなされていることを検査により確認する。
- (2) 検査において不合格の場合には、適切な処置を施し所定の品質を確保する。

【解説】

ボルトの締め付け検査は、ボルト締め付け後すみやかに行う。締め付け軸力の検査および不合格の場合の処置は以下により行う。

(1) トルク法により締め付けた場合

トルク法によって締め付けたボルトに対する締め付け検査は、各ボルト群の10%のボルト本数を標準として、トルクレンチによって締め付け検査する。ここでいう各ボルト群とは、同一日において同一寸法のボルトを同じ締め付け機器を用いて締め付けた場合の一連のボルト群を示し、通常、部材断面を構成するフランジ、ウェブ等の各材片内でのボルト群を示していると考えてよい。

検査ボルトをトルクレンチにより増締めし、ナットが回り始めたときのトルク値を締め付けトルクとする。トルクレンチは定期検定によって精度確認されたものを使用する。検査の合否基準は、締め付けトルク値がキャリブレーション時に設定したトルク値の $\pm 10\%$ の範囲内にあるときに合格とする。

不合格のボルト群は、さらに倍数のボルトを抜き出し再検査し、再検査において不合格の場合、その群のボルト全数を検査する。所定締め付けトルクを下回るボルトについては、所定トルクまで増し締めし、所定締め付けトルクを10%超えたボルトについては、新しいボルトセットに取り替えて締直しを行う。

(2) トルシア形高力ボルト

トルシア形高力ボルトの場合は、全数について、ピンテールの切断の確認とマーキングによる外観検査を行

う。

締め忘れが確認された場合には、締付けを実施し、共回りが認められる場合には、新しいボルトセットに取り替えて締直しを行う。

(3) ナット回転法により締付けた場合

ナット回転法による場合には、全数についてマーキングによる外観検査を行い、締付け回転角が「4.5.1 締付け方法と締付けボルト軸力」に規定する範囲内であることを確認する。

回転角が不足のものについては、所定回転角まで増し締付けを実施する。回転角が過大なものについては、新しいボルトセットに取替え締直しを行う。

(4) 耐力点法により締付けた場合

耐力点法による場合は、全数についてマーキングによる外観検査を行い、各ボルト群においてボルトとナットのマーキングのずれによる回転角を5本抜き取りで計測し、その平均値に対して一群のボルト全数が ± 30 度の範囲にあることを確認する。 ± 30 度の範囲を超える場合には、新しいボルトセットに取替え締直しを実施する。

(5) 高力ボルト引張接合長締め形式の場合[日本鋼構造協会, 2004]

長締め形式では、締付け長さが長くなるため、通常の高力ボルトを用いない場合がある。その場合、上記に示された方法により軸力を検査することはできない。したがって、このような場合のボルトの軸力の管理方法についてあらかじめ検討しておかなければならない。

ボルトの軸力を計測する方法としては、軸力計による方法、ひずみゲ-ジ法、伸び測定法、超音波測定法が挙げられる。軸力計による方法は、(1)に示される高力ボルトで一般に用いられているように、あらかじめキャリブレーション用のボルトで所定の軸力が得られるトルクを調べ、ここで得られたトルクで管理する方法である。長締め形式で用いられるような長いボルトでは、ねじりによるトルク係数の変化を考慮しなければならない。ひずみゲ-ジ法は、軸力計による方法と同様で、軸力計を用いる代わりにボルトにひずみゲ-ジを貼付し、計測されたひずみから軸力を算出し、これとトルクの関係から軸力を管理する方法である。伸び測定法とは、ボルトを締付けた際に生じる伸び量で管理する方法である。PC鋼棒の張力管理で実績があるが、締付けの前後でのボルトの変位量を測定する必要がある。

超音波軸力計は、本州四国連絡橋の来島第一大橋で用いられた実績があり、締付け前後での超音波の伝播時間差を計測することにより推定する。この方法では、超音波探触子をボルト端面に当てるために、端面の粗さと平行度を所定の精度で仕上げる必要がある。近年、超音波を用いる別の方法として、図解4.5.5に示すようなナット対面間の超音波透過量を計測する方法が開発されている。これは、ボルト軸力の大小により、ボルトとナット間の密着状態が異なり、結果として超音波の透過量が異なることに着目した方法である。ボルト長さの初期値を必要としないこと、ボルトヘッドなどセンサー設置部位での端面加工を必要としないことなどの特徴を有している。

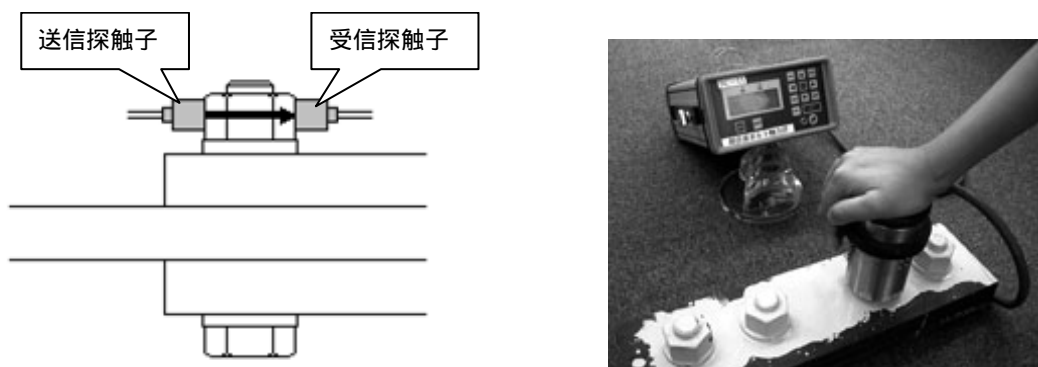


図-解 4.5.5 ナット対面間の超音波透過量による計測[株ジャスト]

4.5.4 施工上注意すべき点

高力ボルトの締付け施工では、以下の点について十分留意する。

- (1) 高力ボルトの品質管理および保管
- (2) 接合面の処理
- (3) 締付ける材片の組立精度
- (4) 接合部材の組立
- (5) 締付け方法と締付け軸力の管理
- (6) ボルトの締付け機，測定器具等の検定
- (7) ボルト締付け時の天候

【解 説】

(1) 高力ボルトの品質管理および保管

ボルト，ナット，座金およびそのセットについては，工場出荷時にその特性や品質を保証する試験，検査を行い，機械的性質や形状寸法，トルク係数値，締付け軸力値等が所定の規格に合格していることを確認しなければならない。また，現場搬入時には，検査成績書と照合し，特性や品質が保証されたボルトセットであることを確認しなければならない。

ボルトのセットは，工場出荷時の品質が現場施工時まで保たれるように，その梱包と現場保管に注意しなければならない。ボルトセットの保管にあたっては，できるだけ工場包装のまま保管庫に収納し，雨や夜露等の湿気があたらないように注意し，工場出荷時の品質が現場施工時まで保たれるようにしなければならない。開包後は雨や夜露等による濡れ，さびの発生，ほこり・砂等のねじ部への付着，乱暴な扱いによるねじ部のいたみなどによる品質の変化が生じやすいので，包装はできるだけ施工直前に解くようにしなければならない。このためには，ボルト締付け施工箇所へのボルトの搬入を計画的に行い，余分な開包を行わないよう注意する。また，工場出荷時の品質を施工時まで確保しておくためには，上記の注意をはらうとともに，工場出荷時から現場施工までの期間をできるだけ短くするよう配慮することが望ましい。

(2) 接合面の処理

接合面については，設計で用いたすべり係数が得られるように適切な処理を行う。接合面の処理については「4.4 接合面」の処理を参照されたい。

(3) 締付ける材片の組立精度

締付け後の継手性能や締付け施工に問題が生じないように、継手部における部材同士の食い違いや孔ずれ等に関して、部材製作時の精度確保に注意を払うものとする。特に部材同士の食い違いについては現場で食い違いを矯正することは困難であり、著しい食い違いが生じないように工場製作時に留意することが重要である。なお、部材の食い違い等が接合面の密着や継手性能に少なからず影響する可能性が懸念される場合の改善対策として、接合面に板厚調整用のフィラーを挿入する、あるいは、母板にテーパ加工を施して段差の影響を緩和するなどの処理方法が有効と考えられる。肌すき等の影響に関しては、高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針（案）[土木学会，2006]に述べられており、これらを参考にすることができる。

現場継手部のすき間から水の浸入が問題となる場合には、止水材を充填する等の防水処理を行う。

(4) 接合部材の組立

部材の組立に使用する仮締めボルトとドリフトピンとの合計は、その箇所の連結ボルト数の 1/3 程度を標準とし、そのうちの 1/3 以上をドリフトピンとするのがよい。ただし、大きな架設応力が作用する場合は、その架設応力に十分耐えるだけの仮締めボルトとドリフトピンを用いる。

仮締めボルトとドリフトピンの合計が、連結ボルト本数の 1/3 を標準とするというのは、一応の目安であり施工方法によって増減する。例えば、現場の事情でどうしてもベントの設置が不可能な場合はその数を多くし、ケーブルエクシジョン工法の場合にはむしろその数を減らし部材間の自由度を増やすように考慮して施工する方が有利となることもある。

また、仮締めボルトとドリフトピンの合計の 1/3 以上をドリフトピンとするのは、ドリフトピンは位置決めで使用し、ボルトは肌合わせに使用することをそれぞれの目的とするためである。

(5) 締付け方法と締付け軸力の管理

高力ボルトの締付け方法については、すでに、「4.5.1 ボルトの締め付けと締付け軸力」で述べたように、締付け軸力の管理方法により、トルク法、ナット回転法、耐力点法等がある。それぞれの方法に応じて特定のボルトや締付け機器を使用する場合がある。したがって、使用するボルトの種類や締付け機器の特性を十分に把握した上で、締付け施工およびその品質管理を行わなければならない。

(6) ボルトの締付け機、測定器具等の検定

ボルトの締付け機、測定器具等の検定は、適切な時期に行いその精度を確認する。ここでいう器具の検定とは、定期検定のことであり現場における日常の検定ではない。

1) ボルト軸力計

軸力計には、油圧の変化で軸力を測定するものとひずみゲージを利用したロードセルタイプのものがあるが、これらは常に規定された精度内で使用できるようにしておかなければならない。このため、現場施工に先立ち、現場搬入直前に 1 回、その後も定期的に検定を行ってその精度を確認する必要がある。軸力計の精度は、トルクレンチ等に比べて取扱いによる影響を受けることが少ないので、定期検定は 3 カ月に 1 回を標準として行えばよい。

なお、ボルトによって締付けられる軸力計の被締付け部分の剛性は、必ずしも実部材の剛性と同一でない。このため、同一の出力トルクで軸力計と実部材とを締付けた場合では、導入されるボルト軸力に若干差が生じることがある。したがって、なるべく実部材に近い剛性をもった軸力計を使用するのが望ましい。

2) トルクレンチ

トルクレンチにはトルクをダイヤルゲージの目盛で読むもの、トルクレンチのたわみを利用して目盛を読むもの、ラチェット式のもの等があるが、いずれも粗雑に取り扱っていると狂いが生じやすい。したがって、トルクレンチの検定は現場搬入時に 1 回、搬入後は 1 カ月に 1 回を標準とし、使用頻度によっては定期検定の期間を別に定めるのがよい。

3) ボルト締付け機

締付け機には電動式と油圧式とがあるが、いずれも締付け精度の持続性がよいので現場搬入前に1回点検し、搬入後の定期検定は3カ月に1回を標準としてよい。電動式、油圧式いずれの締付け機もガンと制御装置あるいは油圧調整装置が組合わされて使用されるので、定期検定はその組合せに対して行う。また、トルク法による場合、出力トルクの精度は使用するトルク値の範囲内で数段階に分けて検定する。

上記締付け機以外にも電気式によるトルク制御式インパクトレンチがあるが、微調整が困難であり、締付け精度の持続性にも問題があるので、本締めには使用しないのがよい。

ただし、予備締めではそれほど締付け精度を要しないので、作業能率のよいトルク制御式インパクトレンチを用いてもよい。

4) トルシア形高力ボルト締付け機

トルシア形高力ボルトの締付け機のソケット部は、ナットとピンテールを保持する2個のソケットからなる。外側のソケットは、ナットを保持して締付けトルクを与え、内側のソケットは、ピンテールを保持して締付けトルクの反力を伝達する構造である。両方のソケットは、互いに逆方向に回転し、締付けトルクが、破断溝の破断トルクに達して切断するまでソケットが回転する。

このように締付けトルクはピンテールを切断することにより制御されるので、専用締付け機は、トルクを制御する機能をもたず単にトルクを与えるためのものであることから、検定の必要はなく、整備点検を行えばよい。

(7) ボルト締付け時の天候[日本橋梁建設協会, 2001]

降雨の際のボルト締付け作業は行わないことを原則とする。水に濡れた状態で高力ボルトを締付けた場合、そのトルク係数値が変化し、ばらつきも増大する。そのため、トルク法を用いる場合の締付けやトルシア形高力ボルトの締付けでは、締付け軸力に直接影響を及ぼす。耐力点法の場合、トルク係数値が直ちに締付け軸力へ関与することはないが、トルク係数値の増大に伴いボルトの捩り負荷が増大するので、最終軸力に若干の変動が生じることが確認されている。

また、接合部材や高力ボルトが湿った状態で施工すると、その後の防錆処理に影響を及ぼす可能性がある。特に締付け軸力の大きい耐力点法の場合には、ボルトの微少な腐食によるピットなどが遅れ破壊に影響を及ぼす要因となるので細心の注意が必要である。

第4章の参考文献

日本道路協会(1971): 支圧接合用打込み式高力ボルト・六角ナット・平座金暫定規格

田島二郎(1972): 高力ボルト摩擦接合概説, 技報堂

日本道路協会(1980): 道路橋示方書・同解説 鋼橋編

日本鋼構造協会(1981): JSS 01-1981 打込式高力ボルト・六角ナット・平座金のセット・解説

日本道路協会(1983): 摩擦接合用トルシア形高力ボルト・六角ナット・平座金のセット・解説

日本鋼構造協会(1987): 鋼構造物における孔加工法の現状と各種関連規定類の見直しについて, JSSC レポート No.2

本州四国連絡橋公団(1989): 上部構造設計基準

三木千壽, 森 猛, 稲沢秀行, 中村賢造(1989): 押し抜きせん断加工孔を用いた高力ボルト摩擦接合継手の疲労強度, 土木学会論文集, No.410 / I-12, pp.345-350

秋山寿行, 播本章一, 西村宣男(1991): 高力ボルト摩擦接合継手に関する設計基準の国際比較, 土木学会第46回年次学術講演会概要集, pp.578~579.

奥川淳志, 高城信彦, 大江慎一(1991): 本州四国連絡橋での摩擦接合用高力ボルトの使用実績, 本四技報 Vol.15 No.59

黒田充紀, 増田陳紀, 利守尚久(1992): スプリット・ティー接合の力学的挙動に及ぼす溶接角変形の影響, 土木学会論文集, No.441 / I-18, pp.127-136.

- 本州四国連絡橋公団(1992)：HSB B 1101 摩擦接合用太径高力六角ボルト・太径六角ナット・太径平座金のセット規格(案)
- 日本規格協会(1995)：JIS B 1186-1995 摩擦接合用高力六角ボルト・六角ナット・平座金のセット・解説
- 日本鋼構造協会(1996)：JSS 09-1996 構造用トルシア形高力ボルト・六角ナット・平座金のセット・解説
- 亀井義典，池端文哉，西村宣男(1997)：低材質フィラープレートを用いた高力ボルト摩擦接合継手の限界状態，構造工学論文
集，Vol.43A，土木学会，pp.65-72.
- 寺尾圭史，名取暢(1997)：フィラーを用いた高力ボルト摩擦接合継手に関する検討，横河ブリッジ技報，No.26，pp.66-72.
- 田中淳夫，増田浩志，脇山廣三，辻岡静雄，平井敬二，立山英二(1998)：過大孔・スロット孔を有する高力ボルト摩擦接合部
の力学性状，鋼構造論文集，Vol.5，No.20，日本鋼構造協会，pp.35-44.
- 日本橋梁建設協会(1998)：高力ボルト施工マニュアル.
- 宮崎晴之，黒田充紀，田中雅人，森 猛(1998)：板厚の異なる材片を接合した高力ボルト摩擦接合継手の滑り耐力，構造工学
論文集，Vol.44A，土木学会，pp.61-70.
- 水口和之，宮本健次，望月秀之，小枝芳樹，宮地真一(1998)：高力ボルト継手設計法の合理化に関する実験的研究—継手部に
フィラープレートを設置した小型試験体の引張試験—，土木学会第 53 回年次学術講演会講演概要集， -A155，
pp.310-311.
- 日本橋梁建設協会(1999)：耐力点法施工マニュアル.
- 鉄道総合技術研究所(2000)：鉄道構造物等設計標準・同解説，鋼・合成構造物.
- 西村宣男，秋山寿行，亀井義典(2001)：高力ボルト摩擦接合継手に関する最近の研究動向，土木学会論文集，No.675 / I-55，
pp.1-14.
- 日本橋梁建設協会(2001)：鋼橋のQ & Aシリーズ 高力ボルト編.
- 日本建築学会(2001)：鋼構造接合部設計指針
- 鋼橋技術研究会(2002)：拡大孔を用いた摩擦接合継手のすべり耐力と降伏耐力に関する研究，鋼橋技術研究会施工部会報告書
- 日本道路協会(2002)：道路橋示方書・同解説 鋼橋編
- 平岡和雄(2002)：TOPICS - 都市新基盤構造物を目指す新高強度耐食鋼 TF の研究概要，独立行政法人 物質・材料研究機構 超
鉄鋼センター，STX - 21 ニュース(通巻 59 号)
- 窪田伸，宮川敏夫(2003)：技術報告 トルシア形超高力ボルト(SHTB)，JSSC No.49
- 杉谷隆夫，森猛，山口隆司(2003)：高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工に関する国内規準の調査と検討，土木学会第 58 回
年次学術講演会概要集，pp.327-328.
- 久保全弘，杉山直也，伊藤功，織田博孝(2004)：フィラープレートによる高力ボルト継手のすべり耐力向上に関する実験，鋼
構造論文集，Vol.11，No.42，pp.29-39.
- 日本鋼構造協会(2004)：橋梁用高力ボルト引張接合設計指針
- 森 猛，山崎信宏，山口実浩(2005)：拡大孔を有する高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力と降伏耐力に関する実験的検討，
土木学会論文集，No.794 / I-72，pp.157-169.
- 土木学会(2006)：高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針(案)
- (株)ジャスト：ホームページ：<http://www.just-shikoku.co.jp/index.html>

第5章 溶接接合

5.1 溶接継手の要求性能

5.1.1 溶接方法

溶接方法は、設計で要求された溶接継手の性能を確実に確保できるものを適用しなければならない。

【解 説】

溶接方法は、「融接」、「圧接」、「ろう接」に大別され、それらを細分すると図解 5.1.1[産報出版2005]のようになる。鋼構造物の溶接接合では、鉄筋の突合せ溶接に圧接法が適用されている他は主として融接法の「アーク溶接」が適用されている。その中でも「被覆アーク溶接」や「マグ溶接」、「サブマージアーク溶接」が一般的に適用されており、コンクリートとのずれ止めのスタッドジベルには「スタッド溶接」が適用されている。このことより、本示方書では鋼構造物の溶接接合として「被覆アーク溶接」、「マグ溶接」、「サブマージアーク溶接」、「スタッド溶接」を適用する場合の規定を主に記述した。なお、上記以外の溶接方法を適用する場合には溶接施工試験などにより溶接継手の性能を十分に確認するのがよい。例えば、溶接能率を向上するために鋼橋の現場溶接などにはエレクトロガスアーク溶接を、建築鉄骨の分野ではエレクトロスラグ溶接が適用されることがあるが、これらの溶接方法は入熱量が高いため、溶着金属部および熱影響部のじん性について事前に確認してから採用するのがよい。また、他の分野では屋外作業でマグ溶接より風の影響が少ないセルフシールドアーク溶接が適用されることがあるが、アーク長が適正範囲を超えるとピットやブローホールが生じやすくなり、溶接作業者の高い技量が必要であり、また、一般にマグ溶接などと比較して溶着金属部のじん性が低いため、溶接施工試験などにより溶接継手の性能を確認することが望ましい。その他、マグ溶接やサブマージアーク溶接などで2電極以上の多電極として溶接能率を向上させる方法もあり、この場合も入熱量が高くなるため、溶接施工試験などにより溶接継手の性能を確認することが望ましい。

溶接方法は、鋼材の特性、設計で示される開先形状や寸法などの溶接継手形状、溶接姿勢、溶接作業空間、溶接作業環境、溶接能率などを考慮し、各溶接方法の特徴を十分理解した上で溶接継手の外観や内部品質、機械的性質などの設計で要求された溶接継手の性能を確実に確保できる方法を入念かつ慎重に選定するのがよい。また、設計で示される溶接継手形状や作業空間では溶接継手の性能を確保することが難しい、または溶接能率が劣るなどの問題がある場合は、設計にフィードバックすることが望ましい。

5.1.2 溶接材料

使用する溶接材料は、設計で要求された溶接継手の性能を満足し、鋼材の特性に合ったものでなければならない。

【解 説】

各溶接方法で使用する溶接材料は、溶接継手の要求性能を明確にした上でその要求性能を満足し、かつ鋼材の特性に合ったものから選定しなければならない。例えば、道路橋示方書・鋼橋編では表解 5.1.1 のように強度(引張強度)、じん性(衝撃値)、普通鋼材か耐候性鋼材で使用する溶接材料の区分が規定されている[日本道路協会2002a]。また、最近の鋼橋ではNi系高耐候性鋼材やBHS鋼など橋梁用高性能鋼が適用されてきており、これらの鋼材が適用される場合は、鋼材の特性を十分理解し溶接継手の性能が確認された溶接材料を選定するのがよ

い.

溶接材料の選定では、溶接欠陥がない健全な溶接ができるかの溶接性、特に耐低温割れ性を考慮することも重要である。道路橋示方書・鋼橋編では、耐候性鋼材を溶接する場合および SM490 以上の鋼材を溶接する場合の被覆アーク溶接は

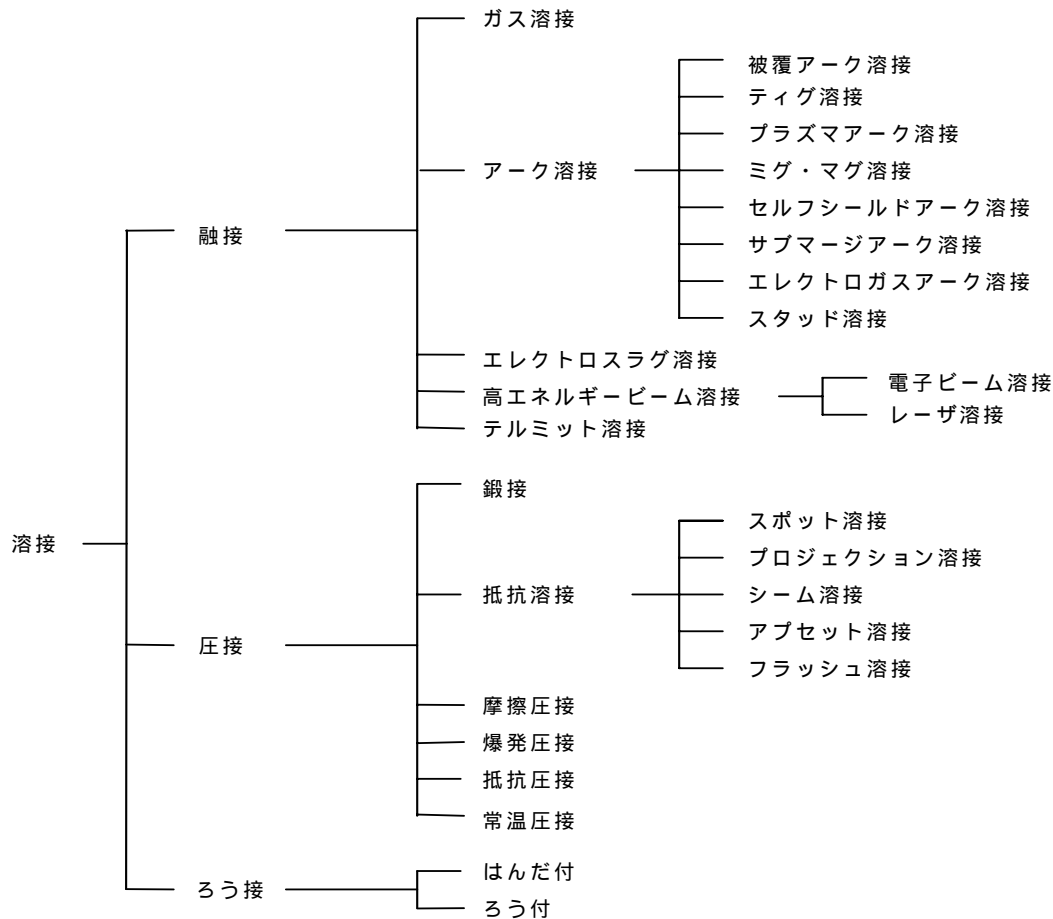


図-解 5.1.1 溶接方法の分類

表-解 5.1.1 溶接材料区分

	使用区分
強度の同じ鋼材を溶接する場合	母材の規格値と同等もしくはそれ以上の機械的性質を有する溶接材料
強度の異なる鋼材を溶接する場合	低強度側の母材の規格値と同等もしくはそれ以上の機械的性質を有する溶接材料
じん性の同じ鋼材を溶接する場合	母材の規格値と同等もしくはそれ以上のじん性を有する溶接材料
じん性の異なる鋼材を溶接する場合	低強度側の母材の規格値と同等もしくはそれ以上のじん性を有する溶接材料
耐候性鋼材と普通鋼材を溶接する場合	母材の規格値と同等もしくはそれ以上の機械的性質、じん性を有する溶接材料
耐候性鋼材と耐候性鋼材を溶接する場合	低強度側の母材の規格値と同等もしくはそれ以上の機械的性質、じん性を有する溶接材料

低水素系溶接材料を使用することを規定しており[日本道路協会,2002a]、鋼材の板厚が厚い場合や拘束度が高い継手を溶接する場合も低水素系溶接材料を使用するのがよい。また、一般に鋼材の引張強度の規格値と同等の溶接材料にて溶接すると溶着金属部の引張強度は鋼材の引張強度よりも高くなるが、引張強度や溶接継手の拘束度が高い場合には低温割れ防止への配慮が必要である。低温割れの防止は予熱などの施工方法による以外に、鋼材の規格値より低い溶接材料にて溶接する軟質継手とすることも有効であり、設計の要求を踏まえて適用の検討を行うのがよい。

最近の溶接材料は、溶接継手の機械的性質やじん性が同等であっても各溶接姿勢に適したもので、スパッタやヒュームの発生が少ないものなど、用途ごとに溶接作業性がよい多くの種類のもので開発されている。溶接作業性は溶接継手の品質に大きく影響を与えるため、溶接継手の機械的性質やじん性および溶接性だけでなく、溶接作業性にも配慮して溶接材料を選定するのがよい。

マグ溶接において、シールドガスに使用する炭酸ガスに水分が含まれているとブローホール等の溶接欠陥が生じる原因となるため、水分が少ないJIS K 1106「液化二酸化炭素（液化炭酸ガス）」に規定された3種を使用することが望ましい。

5.2 溶接作業

組立溶接および本溶接に従事する溶接作業者は、鋼構造物の溶接について十分な技量を有する者でなければならない。

【解説】

溶接継手の性能は溶接方法や溶接材料のみならず、溶接作業者の技量も大きく影響するため、組立溶接および本溶接に従事する溶接作業者は鋼構造物の溶接に必要な技量を有する者でなければならない。必要な技量の基本として溶接資格があり、また鋼構造物の溶接作業に従事した経験も重要となる。例えば、道路橋示方書・鋼橋編では、

- a) 溶接作業者は、JIS Z 3801「手溶接技術検定における試験方法および判定基準」に定められた試験の種類のうち、その作業に該当する試験（又は、これと同等以上の検定試験）に合格したものでなければならない。ただし、半自動溶接を行う場合は、JIS Z 3841「半自動溶接技術検定における試験方法および判定基準」に定められた試験の種類のうち、その作業に該当する試験（又はこれと同等もしくはそれ以上）に合格した者でなければならない。
- b) 工場溶接に従事する溶接作業者は、6ヶ月以上溶接工事に従事し、かつ工事前2ヶ月以上引き続きその工場において溶接工事に従事した者でなければならない。
- c) 現場溶接に従事する溶接作業者は、6ヶ月以上溶接工事に従事し、かつ適用する溶接方法の経験がある者又は十分な訓練を受けた者でなければならない。

と規定している[日本道路協会,2002a]。溶接資格は、日本国内では国家資格である日本工業規格で定める検定試験が基本となるが、鉄道橋においては、すみ肉溶接について適正な技量を有する者としており、すみ肉溶接技量試験にて資格認定を受けた者が従事することとしている[日本鉄道施設協会,2005]。このように、各鋼構造物に要求される性能や溶接施工の難易度などに応じて、訓練や技量を確認する技量試験の実施などを行うのが望ましい。そのほか、各協会でも認定しているものとして、スタッド溶接技量試験や石油工業関係溶接工技量検定試験（JPI 資格）などがあり、海外においてはAWS D1.1 [AWS,2004]やEN287-1 [CEN,2004]などで資格制度を定めている。

サブマージアーク溶接の従事者は、現在、日本国内では国家資格や各協会の技術検定などの規格はないが、ア

ーク溶接の基本である JIS Z 3801 の A-2F 以上の有資格者で、操作方法等について十分に訓練を受けた者であることが望ましい。また、マグ溶接による自動溶接のオペレータは、JIS Z 3841 の SA-2F 以上の有資格者で、自動機の操作方法等について十分に訓練を受けた者であることが望ましい。ただし、現場溶接の場合、工場溶接と異なり溶接姿勢が様々であるため、各姿勢で行う自動溶接のオペレータも該当する試験の有資格者であることが望ましい。エレクトロガスアーク溶接およびエレクトロスラグ溶接は立向き溶接となるため、SA-2V 以上の有資格者とするのがよい。

部材を組み立てる際の組立溶接は、本溶接が被覆アーク溶接やマグ溶接の場合、一般に再溶融されずに残留することが多い。よって、組立溶接の品質を確保するために組立溶接従事者の資格は本溶接従事者と同等とするのがよい。

溶接作業は、大電流を手元で取り扱い、さらに溶接部は高温となるため、いろいろな事故や災害が起こりやすく、溶接作業および作業場所周囲の安全の確保が重要である。例えば、日本国内では「労働安全衛生法」や「労働安全衛生規則」などで、事業者および溶接作業者への規定が定められており、溶接作業にあたりこれらの規定を遵守しなければならない。

5.3 材片の組合せ精度

材片の組合せ精度は、完成した鋼構造物の性能が満足するものでなければならない。

【解説】

部材を組み立てる際に材片の組合せ精度が悪いと、完成した部材の精度だけでなく鋼構造物全体の精度にも影響するので、完成した部材の精度や鋼構造物全体の精度が確保できるように、予め溶接継手の材片の組合せ精度について許容値を定めておくのがよい。また、材片の組合せ精度は、溶接継手の応力伝達が円滑に行われ、要求性能が確実に確保できるものでなければならない。参考に、各基準の材片の組合せ精度についての規定を表-解 5.3.1 に示す[日本道路協会,2002a;ISO,1999;AWS,2004] 表-解 5.3.1 に示したすみ肉溶接の材片の密着度は、ISO 10721-2 や AWS D1.1 では鋼板の平坦度に影響を受けるため厚板の密着度の規定が緩和されている。ただし、隙間が生じた場合は設計のど厚を確保するように施工することを規定している。道路橋示方書・鋼橋編では、部材がスリットを貫通するはめ込み形式となる継手で施工上やむを得ず密着度が守れない場合、密着度が 3 mm 以下のときは隙間分だけ脚長を増し、3 mm を超えるときは開先をとって溶接することを規定している。また、ISO 10721-2 や AWS D1.1 では部分溶込み溶接（突合せ溶接の場合）の材片間の隙間は 5 mm 以下と規定しているが、すみ肉溶接と同様に設計のど厚を確保するように施工する必要がある。なお、材片間の隙間が大きいと溶着金属が隙間に垂れ込む恐れがあるため、疲労を考慮する継手の場合には注意が必要である。以上のように、溶接継手の品質が確保され設計で要求される性能を満足することを前提に、確実に実現できる材片の組合せ精度の許容値を定め、施工上やむを得ず許容値を超える場合の処置方法も定めておくことが望ましい。例えば、材片の密着度が許容値を超えると予想される継手には、予め開先加工を施すことによりど厚を確保する方法が考えられる。

鋼橋の主桁や鋼床版などの主要部材の現場溶接では、施工性を考慮し外面からの片面裏波溶接が用いられることもある。片面裏波溶接では確実に裏波溶接が施工できるルート間隔と板厚方向の材片の偏心（目違い量）とすることが重要となる。ルート間隔は、溶接方法の特徴や工場製作および架設時の誤差を考慮してルート間隔の許容値を定めることが望ましい。また、板厚方向の材片の偏心（目違い量）は溶接継手の応力伝達が円滑となり、かつ健全な裏波溶接が施工できる値を設定するのがよい。

組合せ精度の確認は一般に溶接用ゲージにて行われている。計測位置は予め設定し、それ以外に目視にて許容

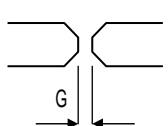
値を超えていると思われる位置を計測するのが望ましい。なお、開先角度については開先加工の段階でも確認できるため、予め計測する時期を定めておくのがよい。溶接用ゲージによる組合せ精度の計測の例を図解 5.3.1 に示す。

部材を組み立てる際は、組合せ精度を確保するために補助治具を活用することが望ましい。この補助治具は溶接にて取り付けることを避けるのがよい。やむを得ず溶接にて取り付けた場合は、補助治具の撤去後グラインダーなどにより母材面まで平滑に仕上げ、目視にて欠陥がないことを確認し、疑わしい場合は浸透探傷試験または磁粉探傷試験にて確認するのが望ましい。

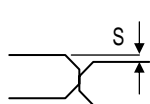
表-解 5.3.1 材片の組合せ精度の例

項目	道路橋示方書	ISO 10721-2		AWS D1.1			
		裏はつりなし	裏はつりあり	裏はつりなし	裏はつりあり	裏はつりあり	
ルート間隔の誤差 ¹	規定値±1.0 mm	裏当金なし	規定値±2 mm	規定値+2 mm - 3 mm	裏当金なし	規定値±1/16in. 〔1.6 mm〕	規定値+1/16in. 〔1.6 mm〕 - 1/8in. 〔3.2 mm〕
		裏当金あり	規定値+6 mm - 2 mm	—	裏当金あり	規定値+1/4in. 〔6.4 mm〕 - 1/16in. 〔1.6 mm〕	—
開先溶接	板厚方向の材片の偏心 ²	t ≤ 50 : 薄い方の板厚の10%以下 t > 50 : 5 mm以下	薄い方の板厚の10%以下、かつ3 mm以下		薄い方の板厚の10%以下、かつ1/8in.〔3.2 mm〕以下		
	裏当金を用いる場合の密着度 ³	0.5 mm以下	2 mm以下		1/16in.〔1.6 mm〕以下		
	開先角度 ⁴	規定値±10°	規定値+10° - 5°		規定値+10° - 5°		
	材片の密着度 ⁵ (部分溶込み溶接)	—	5 mm以下 ただし、形鋼および板厚75 mm以上を含む場合を除く		3/16in.〔5 mm〕以下 ただし、板厚3in.〔75 mm〕以上鋼板・形鋼を含む場合を除く 裏波溶接または適切な裏当てを使用する場合は最大5/16in.〔8 mm〕		
	すみ肉溶接	材片の密着度 ⁶	1.0 mm以下	<ul style="list-style-type: none"> 最大長さ600 mmの継手：2 mm以下 長さ600 mmを超え最大3mの継手：3 mm以下 長さ3 mmを超える継手：5 mm以下 厚さ75 mmを超える場合：8 mm以下 		3/16in.〔5 mm〕以下 ただし、板厚3in.〔75 mm〕以上鋼板・形鋼を含む場合を除く 裏波溶接または適切な裏当てを使用する場合は最大5/16in.〔8 mm〕	
重ね継手	材片の密着度 ⁷	—	2 mm以下		—		

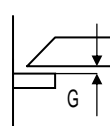
(1)



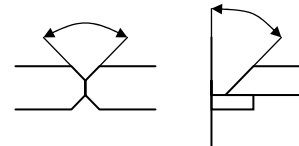
(2)



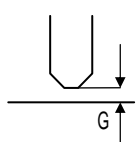
(3)



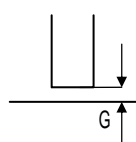
(4)



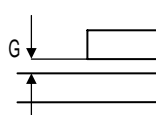
(5)



(6)



(7)



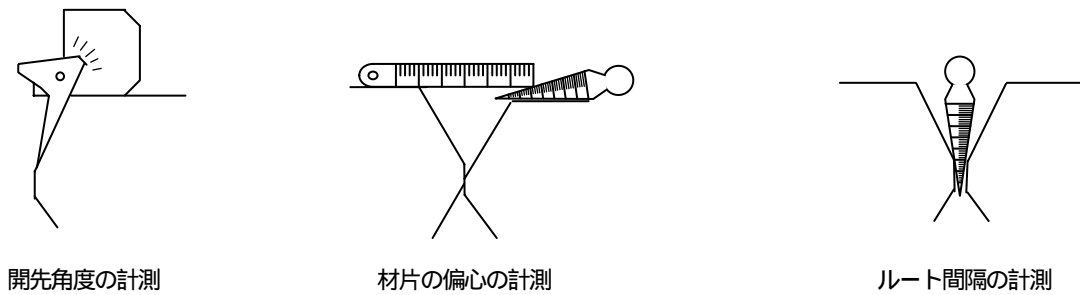


図-解 5.3.1 溶接用ゲージによる組合せ精度の計測の例

5.4 予熱

溶接に先立って、溶接割れを防止するために必要に応じて予熱温度を設定し、予熱を行わなければならない。

【解説】

予熱は、溶接部の低温割れ防止に有効であり、鋼種、板厚、溶接方法などに応じて予熱温度を設定する。従来予熱温度は、炭素当量 (C_{eq}) や溶接部の最高硬さと溶接割れとの関係から設定されることが多かったが、道路橋示方書・鋼橋編では表-解 5.4.1 に示すように溶接われ感受性組成 (P_{CM}) により予熱温度を規定しており[日本道路協会,2002a]、これを参考にするのがよい。予熱温度は溶接われ感受性指数 (P_w) より算出し、この P_w 値は低温割れに影響する P_{CM} 値、溶接金属の拡散性水素量、溶接継手の拘束度から求まるが、表-解 5.4.1 では鋼道路橋の製作で一般に使用されている溶接方法、および鋼道路橋の溶接継手の平均的な拘束度で予熱温度を算出しているため、「低水素系溶接棒による被覆アーク溶接」「ガスシールドアーク溶接」「サブマージアーク溶接」以外の溶接方法を用いる場合は溶接施工試験などで予熱温度を確認することや、溶接継手の拘束度が高い場合は表-解 5.4.1 で示した温度よりも高温の予熱を行うなどの配慮が必要となる。鋼構造物の溶接継手の拘束度として表-解 5.4.2[日本鋼構造協会,1972]が参考にできる。

予熱温度を確認する方法として JIS Z 3158 「y 形溶接割れ試験方法」がある。試験方法の参考として、同一予熱温度および溶接条件により繰り返し 3 体行い、溶接割れが生じない場合はその予熱温度を最小予熱温度とする方法がある。ただし、この試験での拘束度は 700t であり、これ以上の拘束度の場合は実際の構造物を想定した試験体にて確認するのが望ましい。なお、予熱温度は溶接材料へも配慮する必要がある、溶接材料メーカーの推奨条件を参考に設定するのがよい。

予熱方法は、電気抵抗加熱法、高周波誘導過熱法、固定式ガスバーナー法、手動ガスバーナー法などがある。溶接継手の形状や溶接長、能率などを考慮して選択するのがよい。手動ガスバーナー法にて行う場合、加熱速度が速すぎると温度勾配が大きくなり低温割れ防止の効果が低下するため、溶接線の両側約 100 mm およびアークの前方約 100 mm の範囲を加熱するなど、加熱速度に注意し予熱範囲を大きくするのが望ましい。その際、開先部への水分付着を防止するために、直接開先部を加熱することは避ける。

予熱温度は、温度が均一になった後溶接線の両側を温度チョークや示温ペイントなどの感温材、接触式表面温度計、非接触式温度計などにより測定する。予熱温度の測定位置については JIS Z 3703 「溶接 - 予熱温度、パス間温度および予熱保持温度の測定方法の指針」が参考にでき(図-解 5.4.1)、板厚 50 mm 以下は開先の縁から 50 mm、板厚 50 mm を超える場合は開先の縁から 75 mm としている。

予熱においては熱変形への配慮も必要となる。予熱温度が高い場合や細幅断面部材の場合などでは特に熱変形が大きくなり部材精度の確保が難しくなるため、溶接後の溶接変形が最小限となるように対称的に予熱（溶接）するなど予熱順序（溶接順序）を十分検討するのがよい。また、狭隘部での高温の予熱は溶接作業環境が悪くなるため安全面にも配慮が必要となる。このように、熱変形の低減や作業環境の改善を行う必要がある場合は、予熱温度を低減することができる予熱低減鋼などの採用の検討を行うのが望ましい。

表-解 5.4.1 P_{CM} 値と予熱温度の標準

P_{CM}	溶接方法	予熱温度 ()		
		板厚区分 (mm)		
		t ≤ 25	25 < t ≤ 40	40 < t ≤ 100
0.21	SMAW	予熱なし	予熱なし	予熱なし
	GMAW, SAW	予熱なし	予熱なし	予熱なし
0.22	SMAW	予熱なし	予熱なし	予熱なし
	GMAW, SAW	予熱なし	予熱なし	予熱なし
0.23	SMAW	予熱なし	予熱なし	50
	GMAW, SAW	予熱なし	予熱なし	予熱なし
0.24	SMAW	予熱なし	予熱なし	50
	GMAW, SAW	予熱なし	予熱なし	予熱なし
0.25	SMAW	予熱なし	50	50
	GMAW, SAW	予熱なし	予熱なし	50
0.26	SMAW	予熱なし	50	80
	GMAW, SAW	予熱なし	予熱なし	50
0.27	SMAW	50	80	80
	GMAW, SAW	予熱なし	50	50
0.28	SMAW	50	80	100
	GMAW, SAW	50	50	80
0.28	SMAW	80	100	100
	GMAW, SAW	50	80	80

SMAW：低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接

GMAW：ガスシールドアーク溶接

SAW：サブマージアーク溶接

注 1) 予熱なしについては、気温（室内の場合は室温）が 5 以下の場合は結露除去のためのウォームアップ（20 程度に加熱）を行う。

2) 予熱温度算定式

$$T_p () = 1,440P_w - 392$$

$$P_w = P_{CM} + H_{GL}/60 + K/400,000$$

ここに、

T_p ：予熱温度 ()

P_w : 溶接われ感受性指数

P_{CM} : 溶接割れ感受性組成 (%)

$$P_{CM} = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + B$$

3) 表中の予熱温度は下記の仮定に基づき, 算出したものである.

a) 溶接金属の拡散性水素量 (H_D)

低水素系被覆アーク溶接の場合 $H_{GL} = 2\text{ml}/10\text{g}$

サブマージアーク溶接およびガスシールドアーク溶接の場合

$$H_{GL} = 1\text{ml}/10\text{g}$$

b) 溶接継手の拘束度 (K)

橋梁溶接継手の平均的な拘束度として板厚 t の 200 倍を想定

$$K = 200t \text{ (N/mm} \cdot \text{mm)}$$

板厚 t は, 50 mm 以上の場合は 50 mm とする.

表-解 5.4.2 鋼構造物の溶接継手の拘束度

溶接継手の位置		板厚 (h) mm	拘束度係数 (K_0) Kg/mm \cdot mm	拘束度 (K) Kg/mm \cdot mm
船体構造	横隔壁	16	102	1,640
	縦隔壁	13.5	93	1,260
	船側外板	20	44	890
	船底外板	28	25	690
	"	28	26	730
	"	28	28	780
	上甲板	32	40	1,280
船体構造	"	32	38	1,220
	甲板	30	29	880
	縦桁	30	18	550
	"	30	13	400
橋梁	"	30	13	380
	かど継手 (箱桁部材)	50-75	16	900
	"	50-75	69	3,440
	"	50-75	68	3,420
橋梁	"	50-75	40	1,980
	かど継手 (箱桁部材)	32-38	11	340
	ダ イアムとウェブ	19-38	11	200
橋梁	ダ イアムとフランジ	25-50	14	700
	ダ イアムとフランジ	40-60	45	1,800
建築鉄骨	柱梁仕口	12	41	490
	"	28	39	1,090
	"	34	19	630
球形タンク	赤道帯縦継手	32	26 (41)*	830 (1,300)
	赤道帯と下部温帯間横継手	32	31 (81)*	1,000 (2,600)
	極板取付け溶接継手	32	38 (66)*	1,200 (2,100)

板厚 50 mm 以下の場合 : 開先の縁から $A (= 4 \times t)$, かつ 50 mm を超えない位置

板厚 50 mm を超える場合 : 開先の縁から 75 mm 離れた位置

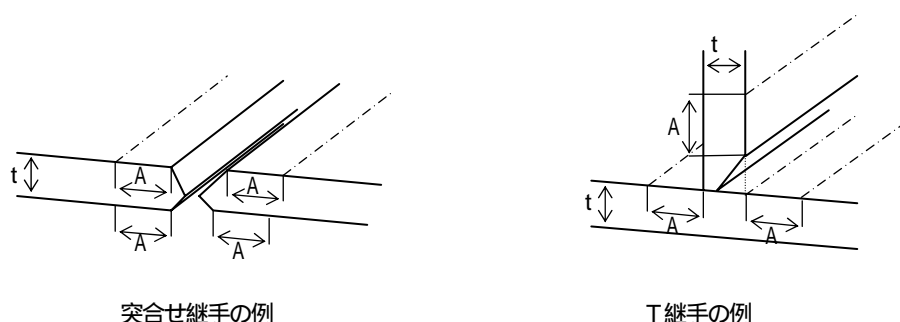


図-解 5.4.1 予熱温度の測定位置

5.5 組立溶接

組立溶接は、本溶接と同様に管理して施工し、組み立てた部材の形状を確実に保持でき、かつ安全に運搬できるようにしなければならない。

【解説】

組立溶接は、本溶接の溶接方法によっては全て再溶融される場合もあるが、一般には再溶融せずに残留することが多いため、組立溶接の品質を確保するために本溶接と同様な管理が必要となる。なお、設計において組立溶接を再溶融させる要求がある場合は、サブマージーク溶接など組立溶接を確実に再溶融できる溶接方法の採用、または本溶接の際にアークエアガウジングやグラインダーにて組立溶接を除去しながら溶接するなど、予め施工方法を計画しておくのがよい。本溶接の際に組立溶接を除去する場合は、母材を傷めないように注意が必要である。組立溶接が再溶融しない溶接方法で完全溶込み溶接を行う場合は、溶接品質を確実に確保するために組立溶接を裏はつり側に行うのがよい。また、疲労を考慮するすみ肉溶接継手の部材端部は確実に溶込みを得るように施工することが重要であり、組立溶接で部材端部を廻し溶接とするか、または図-解 5-5.1[本州四国連絡橋公団,1993]に示すように組立溶接を部材端部より 30 mm 以上を残す施工方法とするのがよい。

組立溶接の脚長および長さは、本溶接中においても確実に部材形状の保持ができるものとし、また組立溶接が完了した部材を安全に運搬できるようにする必要がある。ただし、組立溶接の脚長を不必要に大きくすると、特にすみ肉溶接の本溶接において組立溶接の影響により脚長の不連続が生じるので、本溶接に影響がない組立溶接の最小脚長を設定しておくのがよい。しかし、組立溶接は溶接長が短く拘束度が高くなるため、組立溶接の最小脚長および長さは鋼材や溶接材料の耐割れ性を考慮する必要がある。道路橋示方書・鋼橋編では 490N/mm^2 鋼の T 継手でルートからの割れを防止できる組立溶接として脚長 4 mm 以上、長さ 80 mm 以上と規定している。また、溶接継手の厚いほうの板厚が 12 mm 以下の場合または P_{CM} が 0.22% 以下の場合には長さ 50 mm 以上としている[日本道路協会,2002a]。ISO 10721-2 では組立溶接の長さは溶接継手の厚いほうの板厚の 4 倍以上とし、溶接割れを防止するのに十分な入熱量であれば 50 mm まで短くできるとしており、脚長の規定はないが溶接割れが防止できる入熱量で溶接することとしている[ISO,1999]。このように、組立溶接は本溶接のビード形状への影響が最小限となり、かつ溶接割れが防止でき、形状保持も確実にできる脚長や長さとするのがよい。特にルート割れやヒールクラックは外観検査では確認できないため、予熱条件も含め確実にルート割れやヒールクラックが防止できる施工条件

とする必要がある。ルート割れやヒールクラック以外の組立溶接で生じると考えられる溶接割れは、そのほとんどが溶接部表面に現れるため、組立終了時までにはスラグを除去し、溶接部表面に溶接割れがないことを確認するのが望ましい。なお、溶接割れが確認された場合は、溶接割れが生じた溶接部を全て除去する必要がある。また溶接割れの原因を究明し、防止方法を試験などで確認し適切な対策を講じることが重要である。部材の組立において一時的に鋼板を固定するためなどやむを得ずショートビードにて溶接した場合は、組立完了後にそのショートビードを除去し、溶接割れがないことを確認するのが望ましい。

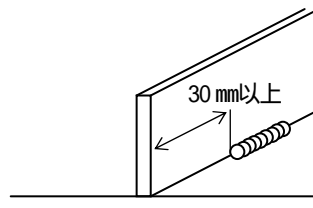


図-解 5.5.1 部材端部の組立溶接位置

5.6 溶接施工の管理

溶接施工は、設計で要求された溶接継手の性能が確保できるように管理し、施工しなければならない。

【解 説】 最終的な溶接継手の性能は、溶接後の非破壊検査による品質検査によって100%保証することはできず、また破壊試験などにて性能上問題があると確認されても再製作などの是正処置が困難である。このため、最終的に設計で要求された溶接継手の性能を確保するためには、溶接過程において適切な管理を行うことが重要であり、鋼構造物の溶接に関する知識や経験が豊富である者を溶接管理者として配置し、溶接の管理を行うのが望ましい。溶接に関する知識や経験を証明する資格としてJIS Z 3410「溶接管理 - 任務および責任」で推奨しているWES8103「溶接管理技術者認証基準」があり、この有資格者を溶接管理者として配置するのが望ましい。また、国際的な資格としてIIW溶接技術者資格制度がある。

溶接施工にあたっては、溶接継手の性能を確保するために必要な方法や管理項目を記載した溶接施工要領書(WPS)を作成し、これに従って正しく施工されているかを管理することが重要となる。溶接施工要領書には最低限下記項目を記述するのが望ましく、さらに詳細な項目や内容についてはJIS Z 3421-1「金属材料の溶接施工要領およびその承認 - アーク溶接の溶接施工要領書」が参考にできる。

溶接施工要領書の項目

適用範囲

鋼材の種類・板厚

溶接方法

使用溶接設備

開先形状

溶接前の処理

溶接材料の管理

溶接環境の管理

入熱量およびパス間温度の制限

溶接姿勢
 裏当材
 エンドタブ
 裏はつり
 溶接施工

(1) 溶接前の処理

組立溶接および本溶接に先立って、溶接継手近傍は清掃および乾燥を行う必要がある。溶接継手近傍の黒皮、錆、塗料、油等は溶接割れやブローホールなどの原因となるため、グラインダーやワイヤブラシなどで清掃を行うのがよい。なお、プライマーや溶接するまでに期間が空く現場溶接などに用いられる開先防錆塗料もブローホールなどの原因となるが、プライマーおよび開先防錆塗料の種類や塗膜厚、溶接材料や溶接条件によっては溶接品質に影響しないこともある。溶接施工試験などにより溶接品質に影響しないことが確認されている場合は、プライマーや開先防錆塗料の剥離を省略してもよい。溶接継手近傍の結露などによる水分は溶接品質に悪影響を及ぼすため、溶接継手近傍を加熱するなど適切な方法にて水分を除去する必要がある。

(2) 溶接材料の管理

溶接材料は、その性能が損なわれないように適切に保管しなければならない。マグ溶接用ワイヤやサブマージアーク溶接用ワイヤは、ワイヤ表面に錆が付着していると溶接欠陥の原因となるため、雨水に当たらないように屋内に保管するのがよい。現場溶接のように屋外でワイヤ送給装置に装着したままとなるものについては、雨天や結露の恐れがある場合はワイヤ送給装置から外し屋内に保管するのがよい。特にフラックス入りワイヤについてはワイヤ内に充填されているフラックスが吸湿する恐れがあるため注意が必要である。また、被覆アーク溶接棒およびサブマージアーク溶接用フラックスは吸湿しやすいため乾燥管理が重要であり、そのほか被覆アーク溶接棒では保温や大気中の放置時間の管理も重要である。その方法は「2.6 溶接材料および保管方法」に示している。片面裏波溶接で使用される裏当材も雨水に当たると溶接欠陥の原因となるため、開封後のものは屋内に保管しておくのがよい。

(3) 溶接環境の管理

溶接作業は、溶接継手の性能が確保できる作業環境にて施工しなければならない。天候や風速については屋内での溶接作業では問題ないが、屋外での溶接作業では雨や雪の場合はもちろんのこと強風の場合も溶接作業を中止するがよい。一般に溶接品質に影響がない風速は、被覆アーク溶接では 10m 以下、マグ溶接は 2m 以下、サブマージアーク溶接はフラックスが飛散しない程度である。ただし、被覆アーク溶接で低温じん性を考慮する場合は 4m 以下とするのがよい。これらを超える風速の時は防風設備を設置するのが望ましい。参考に被覆アーク溶接における風速と溶接部のじん性との関係を図解 5.6.1[神戸製鋼所,1985]に、マグ溶接における風速とブローホール発生量との関係を図解 5.6.2[神戸製鋼所,1998]に示す。気温および湿度は、本州四国連絡橋公団の「鋼橋等製作基準」が参考にでき、気温 0 未満、湿度 80%を超える場合は溶接作業を禁止している。ただし、湿度 80%を超える場合でも大気中の水分の絶対量を示す水蒸気分圧が 25 mm Hg 以下の場合は予熱温度を上げるか、被覆アーク溶接棒の放置時間を短縮するなどの配慮を行えば溶接作業を行ってもよいものとしている[本州四国連絡橋公団,1993]。なお、気温が 0 以上でも鋼板温度が低いと溶接熱により雰囲気温度が上がり鋼板が結露する恐れがあるため、5 以下の場合はウォームアップ（溶接時に 20 程度になるように加熱）を行うのが望ましい。

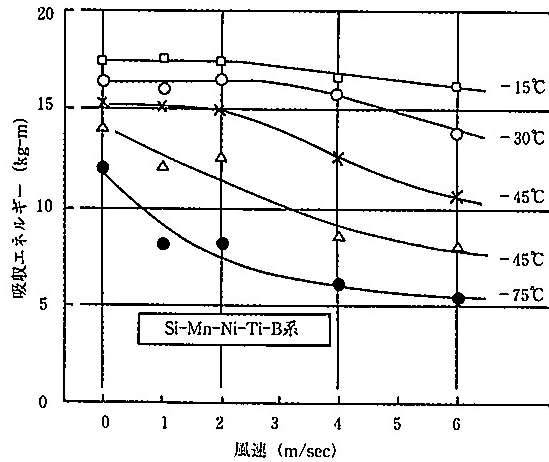


図-解 5.6.1 被覆アーク溶接における風速と溶接部のじん性との関係

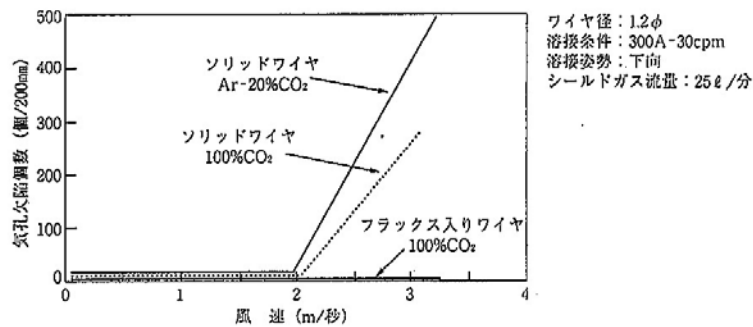


図-解 5.6.2 マグ溶接における風速とブローホール発生量との関係

(4) 入熱およびパス間温度の制限

溶接入熱量は下記の式で求められる。

$$Q = I \times E \times 60 / v$$

ここに、

Q : 溶接入熱量 (J/mm)

I : 溶接電流 (A)

E : 溶接電圧 (V)

v : 溶接速度 (mm/min)

この溶接入熱量が高くなると溶接部の冷却速度が遅くなるため、一般に溶着金属や熱影響部の強度やじん性が低下する。よって、設計で要求された溶接継手の性能が確保できるように、鋼材や溶接方法に応じて溶接入熱量の上限を設定する必要がある。溶接施工試験などにて入熱量の上限を確認しておくのがよい。特に多電極でのサブマージアーク溶接やエレクトロガスアーク溶接では大入熱となるため注意が必要である。参考に、道路橋示方書・鋼橋編ではSM570, SMA570W, SM520 および SMA490W の場合、1パスの入熱量を 7,000J/mm以下、SM490, SM490Y の場合、1パスの入熱量を 10,000J/mm以下に管理することを原則としている[日本道路協会, 2002a]。なお、

溶接継手の板厚が薄いと溶接部の冷却速度は遅くなるため、溶接継手の板厚にも配慮が必要である。また、建築鉄骨の分野では、ガスシールドアーク溶接による溶着金属の機械的性質を確保するために入熱量の上限値が規定されている[日本建築学会,2007]。

溶接施工の能率の面などから入熱量が高い溶接方法を採用する場合は、使用する鋼材や溶接材料に配慮が必要である。最近では、大入熱対応鋼など大入熱溶接でも溶接熱影響部のじん性が良好な鋼材が開発されており、入熱量に応じて適用することが望ましい。また、溶接材料においても溶着金属の性能を確保できるものを選定する必要がある。

入熱量は下限側にも注意する必要がある。入熱量が極端に低いと溶着金属や熱影響部が硬化し低温割れが生じる恐れがある。よって、必要により鋼材や溶接方法、および溶接材料に応じて入熱量の下限も設定するのがよい。

パス間温度は、開先溶接など多層溶接となる場合、前パスの溶接熱により溶接部が高温の状態では溶着金属や熱影響部の強度やじん性が低下する。よって、入熱量と同様に鋼材に応じてパス間温度の上限を設定する必要がある。溶接施工試験などにてパス間温度の上限を確認しておくのがよい。本州四国連絡橋公団の「鋼橋等製作基準」ではSM570は230以下としており[本州四国連絡橋,1993]、これが参考にできる。また、建築鉄骨の分野では、ガスシールドアーク溶接の入熱量と同様にパス間温度の上限値も規定している[日本建築学会,2007]。

パス間温度の測定は温度チョークや示温ペイントなどの感温材、接触式表面温度計、非接触式温度計などがあり、溶着金属部にて測定する場合は欠陥を防止するために接触式表面温度計、非接触式温度計がよい。測定位置についてはJIS Z 3703「溶接 - 予熱温度、パス間温度および予熱保持温度の測定方法の指針」が参考にでき、溶着金属部または母材の開先の縁から10mmの位置とするのがよい。

(5) 溶接姿勢

溶接姿勢による溶接品質への影響は小さくなく、実際に行う溶接姿勢での十分な技量を有する溶接作業者を従事させる必要がある。工場溶接でクレーンや反転装置にて部材を反転することができる場合は、溶接作業がしやすく溶接欠陥も生じにくい下向き姿勢や水平姿勢にて溶接するのが望ましい。現場溶接では部材の反転が困難であるため、各溶接姿勢において溶接継手の性能が確保できる溶接条件を設定する必要がある。溶接姿勢は部材形状、作業スペース、溶接方法を考慮して設定するのがよい。参考に、鋼橋の現場全断面溶接の溶接施工方法例を図-解 5.6.3 に、溶接施工状況を写真-解 5.6.1～4 に示す[日本橋梁建設協会,2005]。

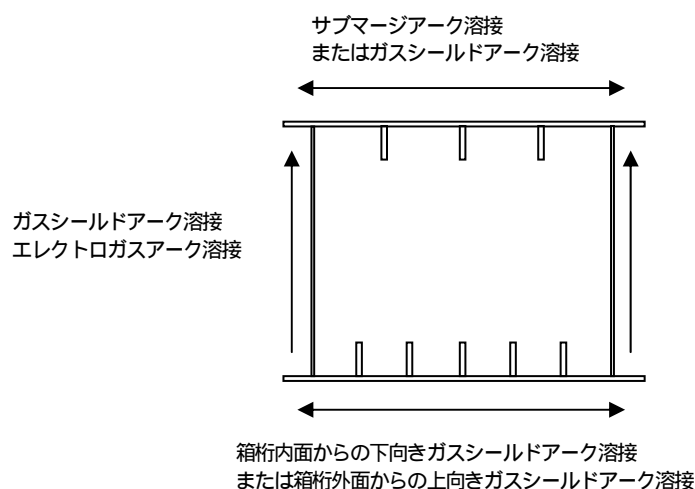


図-解 5.6.3 鋼橋現場全断面溶接の施工例

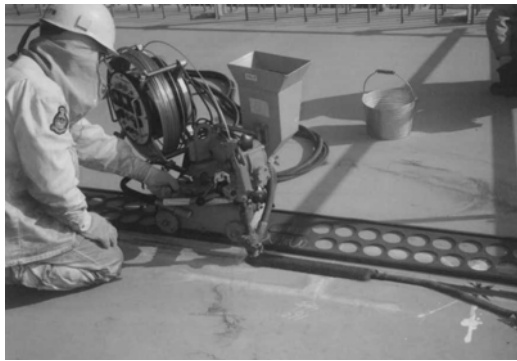


写真-解 5.6.1 サブマージアーク溶接の施工状況



写真-解 5.6.2 上向き自動溶接の施工状況



写真-解 5.6.3 下向き半自動溶接の施工状況



写真-解 5.6.4 立向き自動溶接の施工状況

(6) 裏当材

鋼製裏当材(裏当金)を用いる場合、裏当金と部材との密着度が悪いと初層溶接部の溶接欠陥の原因となるため注意が必要である(裏当金の密着度は「5.3 材片の組合せ精度」による)。特に、ルート部近傍の非破壊検査による溶接品質の保証が難しいため、初層溶接は鋼製裏当材を確実に溶融させる溶接条件とする必要がある。なお、疲労を考慮する場合は鋼製裏当材の使用を避けるのが望ましい。やむを得ず使用する場合は、鋼製裏当材と部材との固定方法や溶接方法などを十分に検討するのが望ましい。

片面裏波溶接ではセラミックス製などの裏当材が使用されるが、この裏当材の密着度が悪いと健全な裏波が形成されないため、接着剤が塗布されたアルミ箔やマグネットクランプなどで確実に密着させるのがよい。

(7) エンドタブ

溶接の始末端部には溶接欠陥が生じやすいため、溶接線が自由端となる場合は部材と同等な開先を有する鋼製エンドタブを取り付け、溶接の始末端部が溶接する部材に入らないようにするのがよい。エンドタブの材質は母材と同等な溶接性に優れたものとするのが望ましい。溶接終了後、エンドタブはガス切断法などにより切断し、その後グラインダーにて母材面まで仕上げる。なお、エンドタブと母材との組立溶接は溶接終了後に母材面まで仕上げてその溶着金属部や熱影響部が母材に残存するため、「5.5 組立溶接」による脚長や長さ以上とするのがよい。作業の効率化により鋼製エンドタブを省略し溶接線端部にセラミックス製エンドタブを取り付けて溶接する場合は、溶接施工試験などにて溶接線端部に欠陥が生じないことが確認するとともに、検査方法を明確にしておく必要がある。鋼製エンドタブおよびセラミックス製タブの取り付けの例を図-解 5.6.4 に示す。

前述のようなエンドタブが取り付けられない溶接継手の場合は、図-解 5.6.5 に示すように端部をカットして廻

し溶接を行うなど、確実に溶接線端部まで溶接できる方法とするのがよい。

鋼構造物の完成後に自由端となる部分溶込み溶接継手やすみ肉溶接継手で、部材端部に残る隙間が防食上問題がある場合には、完成後に隙間が生じないように施工する必要がある。例えば、図-解 5.6.5 に示すように端部をカットして廻し溶接を行い、その後グラインダーなどにて母材面まで仕上げる方法がある。

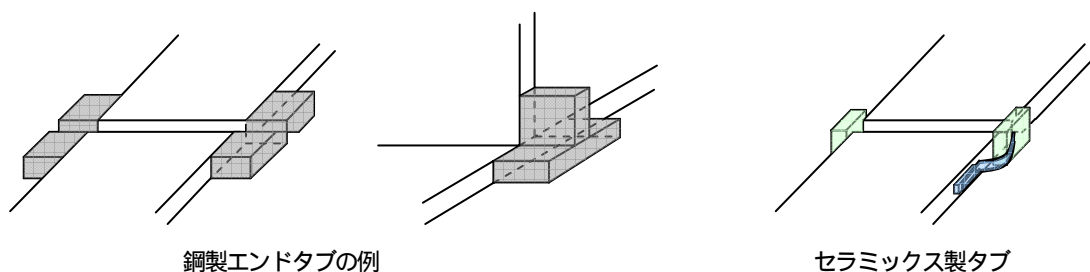


図-解 5.6.4 鋼製エンドタブおよびセラミックス製タブの例

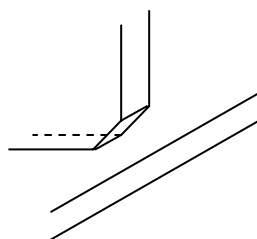


図-解 5.6.5 部材端部の処置の例

(8) 裏はつり

片面裏波溶接や鋼製裏当材を用いた継手以外の完全溶込み溶接を要求された溶接継手は、裏側のルート部の裏はつりを行って完全溶込みとするのが望ましく、裏はつりは、先行した溶接部に溶接割れなどの溶接欠陥がないことを確認しながら行い、必要に応じ浸透探傷試験や磁粉探傷試験にて確認するのがよい。裏はつりをアークエアガウジングにて行った場合、裏はつり面に電極カーボンが残存していると溶接割れの原因となるため注意が必要である。確実に完全溶込み溶接とするためには、アークエアガウジングなどによる裏はつりを行うのがよいが、作業効率の向上により下向きサブマージアーク溶接など溶込みが大きい溶接方法を用いることにより裏はつりを行わない施工方法とする場合は、溶接施工試験などにて開先形状や溶接条件を確認する必要がある。裏はつりを行わない施工方法では、開先精度の確保や溶接条件の遵守が重要であり、確実に施工する必要がある。

(9) 溶接施工

溶接の始末端部には溶接欠陥が生じやすいため、溶接継手内に始末端部を設けないのがよいが、溶接線が長く、被覆アーク溶接や半自動溶接のように連続して溶接ができない場合や、自動溶接にて行っても溶接変形を考慮して断続的に溶接を行う場合は、溶接後に溶接欠陥が残存ないように始末端部の処理を確実にを行うのが望ましい。特に末端部にはクレータ割れが生じやすいため、自動溶接の場合は末端部を除去してから溶接を継ぐのが望ましい。被覆アーク溶接や半自動溶接の場合はクレータ割れが生じないように確実にクレータ処理を行う必要がある。

溶接線の端部で廻し溶接を行う場合は、かど部で止めないように連続的に廻すのが望ましい。ただし、スラップ内など連続的に廻すことができない場合は、かど部の溶込みや始末端部の処理に注意して施工する必要がある。

5.7 外部きずおよび内部きずの検査

溶接完了後、外部きずおよび内部きずについて、設計で要求される溶接品質を満足しているかを適切な検査方法にて検査しなければならない。なお、検査にて不適合と判定された溶接部については、適切な方法にて補修を行い再検査しなければならない。

【解説】

溶接完了後、ビード外観の外部きずおよび溶接内部の内部きずについて適切な検査方法で検査し、要求される溶接品質を満足していることを確認しなければならない。

検査の時期は、溶接が完了して適切な時間経過後とする。PrENV1090-1では、溶接が完了してから16時間以上経過してから行うものとしており[CEN,1994]、最低限部材が完全に冷却した後に行うのがよい。なお、材質や板厚および継手形状により遅れ割れが懸念される場合は、遅れ割れの潜伏期間を考慮して設定するのが良く、この場合は溶接が完了して24～48時間経過後に検査を行うことが多く、本州四国連絡橋公団の「鋼橋等製作基準」では、HT780の溶接部は48時間以上経過後に非破壊検査を行うことにしている[本州四国連絡橋公団,1993]。

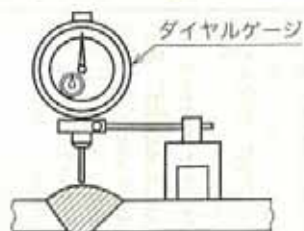
外部きず検査は目視にて溶接部全線とするのが望ましく、必要に応じ溶接用ゲージや限界ゲージを用いるとよい。検査方法の規格としてJIS Z 3090「溶融溶接継手の外観試験方法」があり、この規格で参考として記載している測定器具の例を図解5.7.1に示す。また、表面割れの疑わしい箇所に磁粉探傷試験や浸透探傷試験を用いるのが望ましく、表面割れの検出性能は磁粉探傷試験のほうが優れており、最近では湿式蛍光磁粉探傷試験が用いられている。参考に外部きずに対する各基準の規定を表解5.7.1[日本道路協会,2002a；AWS,2004]に示すが、いずれも表面割れは許容されておらず、溶接接合においては溶接割れの発生防止が最重要となる。また、スパッタに対して特に規定されていないが、塗装や金属溶射のように鋼材表面に表面処理を施す場合、スパッタが付着している箇所の防食性能が得られないことがあるので、防食上問題があるスパッタは表面処理の前までに除去するのが望ましい。

外部きず検査を行う検査技術者についての国家資格はないが、溶接に関する知識を有する者が望ましく、保有していたほうがよい公的資格としてJIS Z 3410「溶接管理 - 任務および責任」で推奨しているWES8103「溶接管理技術者認証基準」およびJIS Z 2305「非破壊検査 - 技術者の資格および認証」が挙げられる。

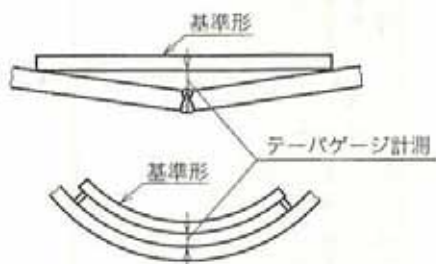
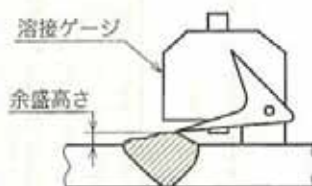


a) 溶接ゲージによる
目違いのチェック

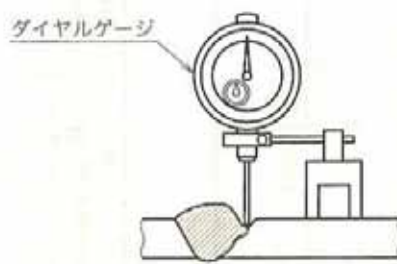
b) テプスゲージによるピード
表面の凹凸のチェック



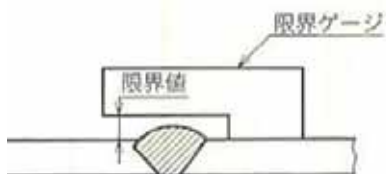
c) 溶接ゲージ及びダイヤルゲージによる余盛高さのチェック



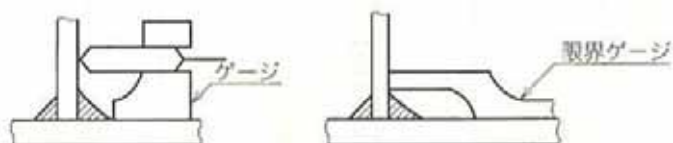
d) 基準形とテーパゲージによる
角変形のチェック



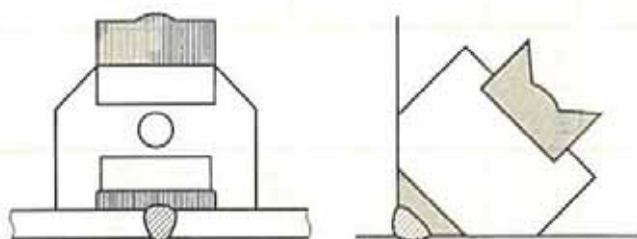
e) ダイヤルゲージによる
アンダカットのチェック



f) 限界ゲージによる
余盛高さのチェック



g) すみ肉溶接のサイズ計測ゲージの例



h) 表面形状ゲージの例

図-解 5.7.1 外観検査の測定器具の例

表-解 5.7.1 外部きずに対する検査項目と判定基準の例

項目	判定基準										
	道路橋示方書	AWS/D1.1									
		静的荷重を受ける非管継手	繰返し荷重を受ける非管継手								
溶接割れ	あってはならない	あってはならない	あってはならない								
ピット	主要部材の突合せ継手および断面を構成する T 継手, かど継手にはピットがあってはならない. その他のすみ肉溶接および部分溶込み開先溶接には, 1 継手につき 3 個または継手長さ 1m につき 3 個までを許容する. ただし, ピットの大きさが 1 mm 以下の場合, 3 個を 1 個として計算する.	引張応力と直交する突合せ継手の完全溶込み溶接部にはピットがあってはならない. その他の開先溶接およびすみ肉溶接は, 直径で 1/32in. [1 mm] 以上のピットの和が, 溶接部の長さにおいて 3/8in. [10 mm] を超えてはならず, また溶接部の任意の 12in. [300 mm] の長さにおいて 3/4in. [20 mm] を超えてはならない.	引張応力と直交する突合せ継手の完全溶込み溶接部にはピットがあってはならない. 他の全ての開先溶接およびすみ肉溶接は, 長さ 3/8in. [10 mm] あたり 1 個を超えてはならず, 最大径は 3/32in. [2.5 mm] を超えてはならない. (例外) スティフナをウェブに接合するすみ肉溶接は静的荷重を受ける非管継手の基準を適用.								
ビード表面の凹凸	ビード長さ 25 mm の範囲で 3 mm を超える凹凸があってはならない.	--	--								
アンダーカット	0.5 mm 以下 疲労考慮する溶接継手の場合は「鋼道路橋疲労設計指針」を適用	1in. [25 mm] 未満の鋼板: 1/32in. [0.8 mm] を超えてはならず, 任意の 12in. [300 mm] における 2in. [50 mm] 以下の任意の累計長さについて, 1/16in. [1.6 mm] を超えてはならない. 1in. [25 mm] 以上の鋼板: 1/16in. [1.6 mm] 以下	引張応力に直交する溶接部 : 0.01in. [0.25 mm] 以下 その他: 1/32 in. [0.8 mm] 以下								
オーバーラップ	あってはならない	あってはならない	あってはならない								
すみ肉溶接の大きさ	指定すみ肉サイズおよびのど厚を下回ってはならない. ただし, 1 溶接線の両端部を除く部分では, 溶接長さの 10% の範囲でサイズおよびのど厚ともに -1.0 mm の誤差を認める.	指定すみ肉サイズを下回る部分が溶接長の 10% を超えてはならない. <table border="1" data-bbox="762 1301 1241 1458"> <thead> <tr> <th>指定すみ肉サイズ in. [mm]</th> <th>許容 in. [mm]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/16 [5]</td> <td>1/16 [1.6]</td> </tr> <tr> <td>1/4 [6]</td> <td>3/32 [3.2]</td> </tr> <tr> <td>5/16 [8]</td> <td>3/16 [5]</td> </tr> </tbody> </table> 桁のウェブとフランジの溶接部では, 長さ方向端部におけるフランジ幅の 2 倍相当の長さの範囲ではサイズ不足は許容されない.	指定すみ肉サイズ in. [mm]	許容 in. [mm]	3/16 [5]	1/16 [1.6]	1/4 [6]	3/32 [3.2]	5/16 [8]	3/16 [5]	
指定すみ肉サイズ in. [mm]	許容 in. [mm]										
3/16 [5]	1/16 [1.6]										
1/4 [6]	3/32 [3.2]										
5/16 [8]	3/16 [5]										
すみ肉溶接の余盛り	--	<table border="1" data-bbox="826 1603 1326 1765"> <thead> <tr> <th>ビード幅 W in. [mm]</th> <th>最大余盛り C in. [mm]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5/16 [8]</td> <td>1/16 [1.6]</td> </tr> <tr> <td>5/16 [8] < W < 1 [25]</td> <td>1/8 [2.5]</td> </tr> <tr> <td>1 [25]</td> <td>1/18 [3.2]</td> </tr> </tbody> </table>	ビード幅 W in. [mm]	最大余盛り C in. [mm]	5/16 [8]	1/16 [1.6]	5/16 [8] < W < 1 [25]	1/8 [2.5]	1 [25]	1/18 [3.2]	
ビード幅 W in. [mm]	最大余盛り C in. [mm]										
5/16 [8]	1/16 [1.6]										
5/16 [8] < W < 1 [25]	1/8 [2.5]										
1 [25]	1/18 [3.2]										
開先溶接の余盛り	<table border="1" data-bbox="437 1800 740 1966"> <thead> <tr> <th>ビード幅 B [mm]</th> <th>余盛り高さ h [mm]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>B < 15</td> <td>h 3</td> </tr> <tr> <td>15 ≤ B < 25</td> <td>h 4</td> </tr> <tr> <td>25 ≤ B</td> <td>h (4/25) × B</td> </tr> </tbody> </table>	ビード幅 B [mm]	余盛り高さ h [mm]	B < 15	h 3	15 ≤ B < 25	h 4	25 ≤ B	h (4/25) × B	1/8in. [3.2mm] 以下	1/8in. [3.2mm] 以下
ビード幅 B [mm]	余盛り高さ h [mm]										
B < 15	h 3										
15 ≤ B < 25	h 4										
25 ≤ B	h (4/25) × B										

一般に、内部きずの検査は完全溶込み溶接継手に対して行われており、放射線透過試験または超音波探傷試験が用いられている。それぞれの検査方法の特徴を十分理解し、溶接継手の板厚や継手形状および安全上の制約などにより検査方法を適用するのがよい。例えば、放射線透過試験においては、放射線透過試験の探傷能力を越える場合があることから板厚 40 mm以下を目安とされていること[日本道路協会,2002a]、突合せ溶接継手以外は適用しにくいこと、撮影中は立入禁止区域や管理区域を設け安全管理を徹底しなければならないこと、などを十分に考慮して適用するのがよい。

内部きずの試験方法は、放射線透過試験は JIS Z 3104「鋼溶接継手の放射線透過試験方法」、超音波探傷試験は JIS Z 3060「鋼溶接部の超音波探傷試験方法」によって行うのがよい。なお、超音波探傷試験は斜角探傷と垂直探傷による探傷法、および探触子の周波数や探傷屈折角によって検出性能が異なるため、溶接継手の板厚や継手形状にあった探傷法および周波数や屈折角の探触子を用いるのがよい。また、超音波自動探傷を適用する場合は、その検出性能が確認された装置を適用するのがよい。さらに、最近ではきず高さの計測が可能な TOFD 法や小さな探触子を多数配列した探触子により超音波を任意に偏向・集束させることができるフェイズドアレイ法などが適用されつつあり、これらの適用にあたっては事前に検出性能を十分に確認しておくのがよい。

内部きずの検査の検査率について、参考に鋼道路橋の例を表-解 5.7.2,3[日本道路協会,2002a]に示すが、溶接継手が受ける応力や溶接施工時の品質管理、溶接継手形状や溶接方法、検査方法などにより頻度や検査ロット、および検査箇所を決定するのがよい。例えば、鋼道路橋における放射線透過試験による工場溶接継手の完全溶込み突合せ溶接の内部きずの検査は、品質管理が十分にされる工場溶接であり、かつ溶接品質が安定して確保されることを確認された溶接方法であることを前提に抜き取り検査としており、検査箇所は溶接欠陥が生じやすい傾向にある溶接継手端部としている。

内部きずの寸法は、設計で許容される寸法以下でなければならない。この寸法は設計で要求されるものであるが、参考に鋼道路橋の例を表-解 5.7.4[日本道路協会,2002a]に示す。なお、鋼道路橋において疲労を考慮する場合には「鋼道路橋疲労設計指針」[日本道路協会,2002b]が適用されており、ISO 10721-2 および AWS/D1.1 においても繰り返し荷重を受ける場合の規定を設けている[ISO,1999; AWS,2004]。

内部きずの検査を行う検査技術者は、適用する検査方法について十分な知識を有する者が行わなければならない。国家資格として JIS Z 2305「非破壊検査 - 技術者の資格および認証」があり、この国家資格のレベル 2 以上の有資格者が検査および判定することが望ましい。特に超音波探傷試験の手動探傷は検査技術者の技量によるところが大きいため、経験が豊富で溶接に関する知識も有している者が望ましい。なお、国際的な資格として IIW 溶接検査技術者資格制度がある。

スタッド溶接部の検査は、一般に表-解 5.7.5[日本道路協会,2002a]に示す外観検査およびハンマー打撃検査が行われている。

表-解 5.7.2 工場溶接継手の完全溶込み突合せ溶接の内部きずに対する非破壊検査率の例

部材		1 検査ロットをグループ分けする場合の 1 グループの最大継手数	放射線透過試験 撮影枚数	超音波探傷試験 検査継手数	
引張部材		1	1 枚 (端部を含む)	1	
圧縮部材		5	1 枚	1	
曲げ部材	引張フランジ	1	1 枚	1	
	圧縮フランジ	5	1 枚	1	
	腹板	応力に直角 方向の継手	1	1 枚 (引張側)	1
		応力に平行 方向の継手	1	1 枚 (端部を含む)	1
鋼床版		1	1 枚 (端部を含む)	1	

表-解 5.7.3 現場溶接継手の完全溶込み突合せ溶接内部きずに対する非破壊検査率の例

部材	放射線透過試験	超音波探傷試験
	撮影箇所	検査長さ
鋼製橋脚のはりおよび柱 主けたのフランジ (鋼床版を除く)および腹板	継手全長を原則とする	
鋼床版のデッキプレート	継手の始末端で連続して 50cm(2 枚), 中間部で 1m につき 1 箇所(1 枚), およびワイヤ継ぎ部で 1 箇所(1 枚)を原則とする	継手全長を原則とする

表-解 5.7.4 完全溶込み溶接継手の内部きずの許容寸法の例 (道路橋示方書)

検査方法	適用継手		基準
放射線透過試験	板厚 25 mm 以下	引張応力を受ける継手	JISZ3014 に示す 2 類以上
		圧縮部材を受ける継手	JISZ3014 に示す 3 類以上
	板厚 25 mm 超え		きず長さ T/3 mm 以下 (T: 板厚)
超音波探傷試験	全継手		きず長さ T/3 mm 以下 (T: 板厚)

表-解 5.7.5 スタッド溶接部の検査項目と判定基準

項目		判定基準
外観検査	余盛り形状の不整	余盛りは全周にわたり包囲していなければならない。 なお、余盛り高さは 1 mm, 幅 0.5 以上のものをいう。
	クラックおよび スラグ巻き込み	あってはならない。
全数検査	アンダーカット	鋭い切欠状のアンダーカットおよび深さ 0.5 mm を超えるアンダーカットがあってはならない。ただし、グラインダー仕上げ量が 0.5 以内に収まるものは仕上げて合格とする。
	スタッドジベルの 仕上り高さ	(設計値±2 mm) を超えてはならない。
曲げ試験		15°曲げて割れ等の欠陥が生じてはならない。 欠陥が生じないものは元に戻すことなく、曲げたままにしておかなければならない。
外観検査の結果が不合格のもの：全数 外観検査の結果が合格のもの：1%抜き取り		

前述した検査にて不適合と判定された溶接部は、設計で要求された溶接継手の性能を満足できるように適切な方法にて補修し、再度検査を行い溶接品質が確保されていることを確認しなければならない。検査が抜き取り検査の場合は、不適合と判定された溶接部全線や同一ロットの抜き取り再検査などを行うことが必要である。溶接にて補修する場合は、再熱による元の溶接部の機械的性質への影響や、拘束度が高いことから溶接割れへの配慮、補修溶接の新たな溶接欠陥の防止などを考慮し、溶接欠陥の除去方法、予熱の有無、溶接材料、溶接方法、溶接作業者の技量、ビード仕上げ、再検査方法などを十分に検討してから行うのが望ましい。特に溶接割れが生じた場合の補修は、溶接割れの原因を究明し、その原因にあった補修方法にて行うのが重要である。補修の際に注意すべき点を以下に記述するので参考にするとよい。また、表-解 5.7.9 に溶接欠陥ごとの補修方法の例を示す[日本道路協会,2002a]。

溶接欠陥の除去は、一般にアークエアガウジングまたはグラインダーにて行われている。溶接割れのようにアークによる熱で進展する恐れがある場合はグラインダーにて慎重に除去するのがよい。

予熱は、補修溶接は継手の拘束度が高いことから、補修溶接による溶接割れを防止するために「5.4 予熱管理」で示した予熱温度よりも高くするのが望ましく、継手形状で異なるが 50～100℃ 高くするのがよい。

溶接材料や溶接方法は、原則本溶接にて適用したものとなるが、溶接割れなど新たな溶接欠陥を防止するために、拡散性水素量が低い溶接材料や低強度の溶接材料、補修溶接がしやすい溶接方法などの適用を検討するのがよい。また、鋼道路橋での補修溶接ビードの長さは 40 mm 以上としており[日本道路協会,2002a]、ショートビードにならないように溶接するのが望ましい。

補修溶接は、溶接継手の性能への影響を考えると何度も補修することは避けなければならない。さらに本溶接よりも難しい溶接となることが多い。そのため、技量が十分である溶接作業者を補修溶接に当てることが望ましい。

補修後の継手のビード形状は不連続となるため、補修したビードおよびその始末端部は本溶接のビード形状に合わせて仕上げるのが望ましい。

補修後の再検査は補修した箇所だけでなく、その周辺のビードについても検査を行うのが望ましい。特に溶接にて補修した場合は、再熱により本溶接に溶接割れが生じることがあるので注意する必要がある。また、再検査の方法は原則本溶接と同じ方法であるが、溶接割れの検査として磁粉探傷試験も行うなど、必要に応じ他の検査方法も併用するのがよい。

表-解 5.7.9 溶接欠陥の補修方法の例

溶接欠陥の種類	補修方法
溶接割れ	溶接割れの原因を究明し、その原因にあった補修方法にて行う。溶接割れは完全に除去する。
ピット	アークエアガウジングまたはグラインダーにて除去し、再溶接する。
ビード表面の凹凸	グラインダーにて仕上げる。
アンダーカット	程度により、グラインダーにて仕上げるか、アンダーカット箇所を再溶接する。
オーバーラップ	グラインダーにて仕上げるか、オーバーラップ箇所を再溶接する。
アークストライク	溶接後グラインダーにて仕上げる。ただし僅かな痕跡なものはグラインダー仕上げのみとする。
内部きず	アークエアガウジングまたはグラインダーにて完全に除去し、再溶接する。
開先溶接余盛り過大	許容値内となるようにグラインダーにて仕上げる。特に止端部は滑らかに仕上げる。
スタッド溶接部の外観不良および曲げ試験不合格	スタッドジベルを母材の手前で切断し母材面まで平滑に仕上げた後、再溶接する。

5.8 溶接施工試験

設計で要求された溶接継手の性能が確保できることを確認するために、必要に応じて溶接施工試験を実施するものとする。

【解 説】

溶接施工試験は、設計で要求された溶接継手の性能を確実に確保できるかを確認するために行い、使用する鋼材の溶接性や溶接材料の特性、溶接部の機械的性質や内部品質など、溶接施工試験で何を確認するかを明確にして実施する。下記事項に該当する場合は溶接施工試験を行うことが望ましい。

- 1) 被覆アーク溶接、マグ溶接、サブマージアーク溶接以外の溶接方法にて行う場合
- 2) 使用実績がない鋼材や溶接材料を使用する場合
- 3) 採用する溶接施工方法（開先形状、予熱、溶接方法、溶接姿勢など）の施工実績がない場合

鋼道路橋は、調質鋼または厚板となる SM570、SMA570W、SM520、SMA490W においては 1 パスの入熱量が 7,000J/mm を超える場合、SM490、SM490Y においては 1 パスの入熱量が 10,000J/mm を超える場合に溶接施工試験の実施を規定しており[日本道路協会,2002a]、「5.1 溶接継手の要求性能」で記述したように、入熱量が高くなるエレクトロガスアーク溶接やエレクトロスラグ溶接、および多電極でのマグ溶接やサブマージアーク溶接を採用する場合は溶接施工試験を実施し、特にじん性について十分確認しておく必要がある。

溶接施工試験は、採用する開先形状や溶接方法および溶接姿勢ごとに行うのが望ましいが、使用する鋼材の種類や板厚および溶接材料、すみ肉溶接の脚長については、区分を設定して行うのがよい。この区分については、JIS Z 3040「溶接施工方法の確認試験方法」や JIS Z 3422-1「金属材料の溶接施工要領およびその承認 - 溶接施工法」が参考になり、この規格における突合せ継手の母材の厚さの区分を表-解 5.8.1 に、すみ肉溶接継手のどの厚の区分を表-解 5.8.2 に示す。例えば、突合せ継手の溶接施工試験で試験材の板厚が 20 mm の場合、この試験が有効となる実際の突合せ継手の板厚範囲は、多層溶接では板厚 10～40 mm、両面 1 パス溶接では 16～22 mm となる。すみ肉継手ではどの厚による区分となる。

表-解 5.8.1 突合せ継手の母材の厚さの区分

単位：mm

試験材の厚さ (t)	母材の厚さの区分 (T)	
	片面1パス溶接 または両面1パス溶接	多層溶接
3以下	0.8t以上 1.1t以下	t以上 2t以下
3を超え12以下		3以上 2t以下
12を超え100以下		0.5t以上 2t以下 最大150
100を超えるもの		0.5t以上 1.5t以下

表-解 5.8.2 すみ肉継手の場合のすみ肉溶接ののど厚の区分

単位：mm

試験溶接ののど厚 (l)	すみ肉溶接ののど厚の区分 (L)
10以下	0.75l以上 1.5l以下
10を超えるもの	10以上

母材の厚さは区分としない

溶接施工試験の試験項目は、試験の目的に応じて選定するのがよい。参考に、鋼道路橋における試験項目および試験体形状と試験片採取位置を表-解 5.8.3 および図-解 5.8.1.2 示す[日本道路協会,2002a]。なお、衝撃試験の採取位置は、大入熱溶接ではバンド部からも採取するなど、試験の目的に応じて検討するのが望ましい。

製作する鋼構造物の施工実績がない場合は、必要に応じて実物大試験体を用い、溶接品質だけでなく溶接収縮量や溶接変形、および全体形状も確認し、そこで知り得た事項を実施工に反映させることも考えられる。

溶接品質が最終的な品質検査で不適合と判断された場合には是正処置が困難な場合は、溶接過程において適切な方法で溶接品質を確認することが望ましい。ISO 10721-2 では、応力と直角方向の開先溶接部の機械的性質はタブ材試験により確認するのが望ましいとしており、継手引張試験、曲げ試験、衝撃試験を実施することになっている[ISO,1999]。

表-解 5.8.3 溶接施工試験の試験項目

試験の種類	試験項目	試験片形状	試験片個数	試験方法	判定基準
開先溶接試験	引張試験	JIS Z 3121 1号	2	JIS Z 2241	引張強さが母材の規格値以上
	型曲げ試験 (19mm未満裏曲げ) (19mm以上側曲げ)	JIS Z 3122	2	JIS Z 3122	原則として、きれつが生じてはならない
	衝撃試験	JIS Z 2202 Vノッチ	各部位3	JIS Z 2242	溶接金属および溶接熱影響部で母材の規格値以上(3個の平均値)
	マクロ試験	——	1	JIS G 0553 に準ずる	欠陥があってはならない
	非破壊試験	——	継手全長	JIS Z 3104 または JIS Z 3060	各基準による
すみ肉溶接試験	マクロ試験	——	1	JIS G 0553 に準ずる	欠陥があってはならない
スタッド溶接試験	引張試験	JIS Z 1198	2	JIS Z 2241	降伏点: 235N/mm ² 以上 引張強さ: 400~550N/mm ² 以上 伸び: 20%以上 ただし溶接部で切れてはならない
	曲げ試験	JIS Z 3145	2	JIS Z 3145	溶接部にきれつを生じてはならない

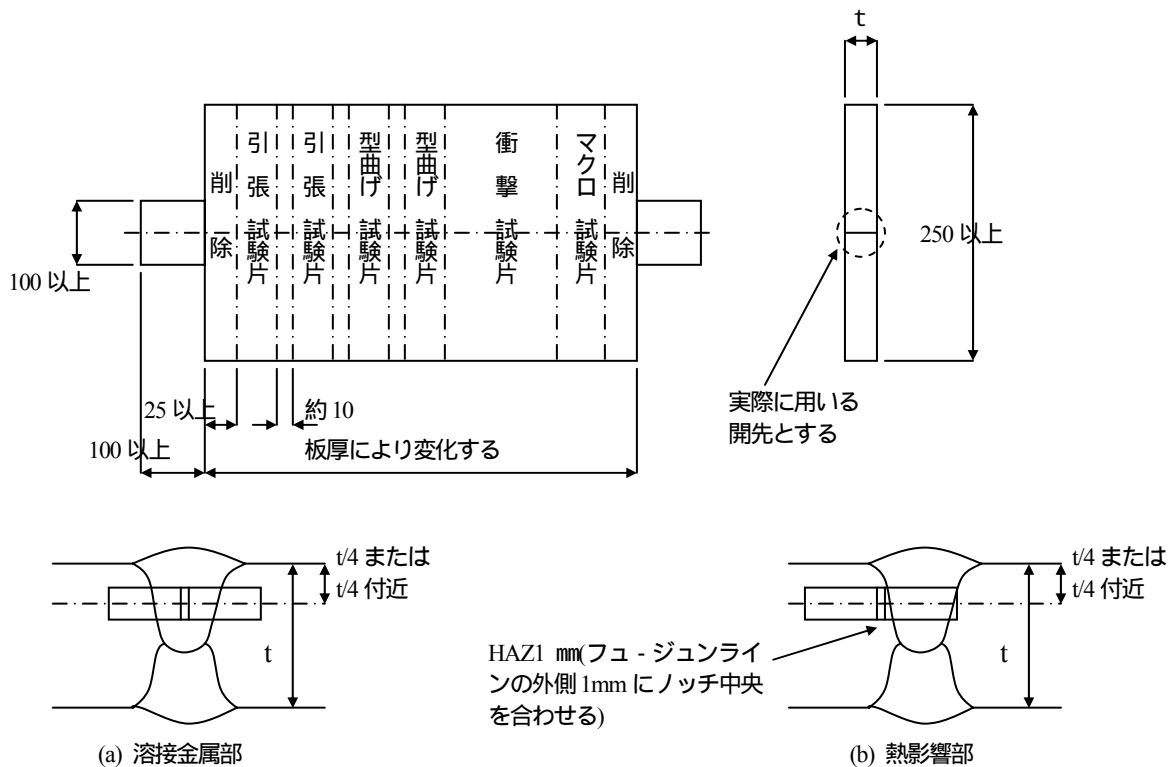


図-解 5.8.1 開先溶接試験の試験体形状と試験片採取位置

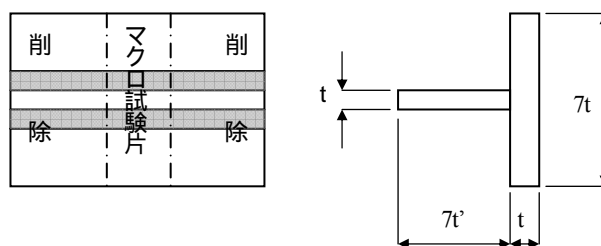


図-解 5.8.2 すみ肉溶接試験の試験体形状と試験片採取位置

5.9 ひずみ矯正

溶接によって生じたひずみは、完成した鋼構造物の性能に影響がある場合には矯正しなければならない。

【解説】

融接による溶接接合を行うと、溶接熱による材料の膨張・収縮により溶接ひずみが生じる。この溶接ひずみにより、「7.4 部材の精度確認」に示した許容値から外れるなど鋼構造物の性能に影響がある場合には矯正する必要があり、矯正の方法としてプレス矯正やローラー矯正などの機械矯正法、およびガス炎による線状加熱矯正法がある。加熱矯正法は加熱温度および冷却温度の管理が重要であり、温度については「3.7 歪矯正」を参考にするとよい。なお、加熱矯正法による温度管理は一般的に温度チョークなどの感温材にて行われている。

溶接ひずみの角変形への対策として、組立前に角変形する逆方向に角変形する量を予ひずみとして設けておく方法があり、溶接後のひずみ矯正が困難な継手やひずみ矯正の省力化に有効である。

5.10 溶接部の仕上げ

設計で要求される溶接部の仕上げは、適切な方法にて行い、設計で要求される性能を確保しなければならない。

【解説】

溶接部の仕上げは、景観への配慮、疲労強度向上など設計で要求される性能を確保させるために適切な方法で行わなければならない。

景観への配慮のための余盛りビード仕上げは、突合せ継手の余盛りビードをディスクグラインダーにて母材面まで平滑に仕上げることが多いが、過度な削り込みにより母材厚以下とならないようにし、特に片面裏波溶接の場合は、溶接による角変形が生じ母材厚以下まで削り込む恐れがあるため注意する必要がある。なお、母材面の削り込みが過度にならないように削り込み深さを 0.5 mm 以下として仕上げるのがよい。

疲労強度の向上のための仕上げでは、突合せ継手の場合は上述した余盛りビードの仕上げ方法にて行うのが望ましく、特に止端のラインが残らないように滑らかに仕上げるのがよい。また、仕上げ後のグラインダー跡が疲労に影響するため、グラインダー跡の方向（仕上げ方向）は応力が作用する方向とすることや、表面粗さにも配慮が必要である。本州四国連絡橋公団の「鋼橋等製作基準」では表面粗さは 50s (50 μ mRz) 以下としており[本州四国連絡橋公団,1993]、これが参考にできる。T継手や十字継手の仕上げも突合せ継手と同様であり、溶接ビードの波目や止端のラインが残らないように滑らかに仕上げ、仕上げ方向や表面粗さにも配慮するのがよい。ビード全体のR仕上げや止端部のR仕上げの要求がある場合は、仕上げ見本やRをゲージにて管理するのが望ましい。

なお、突合せ継手はディスクグラインダーのみで仕上げることが多いが、T継手や十字継手の場合はディスクグラインダーだけでは要求を満足する仕上げ形状とすることは難しいため、最終仕上げには棒グラインダーにて仕上げるのが望ましい[森ら, 2004]。止端部の疲労強度向上にはグラインダー仕上げによる方法のほかに、止端部をTIG処理にて滑らかにする方法や、ピーニングにより止端部表面を圧縮残留応力とする方法などがあり、これらを適用する場合は設計の要求性能や効果について十分に確認しておくのが望ましい。

また、鋼構造物の防食方法として溶融亜鉛めっきを施す場合にも、溶融亜鉛ぜい化による溶接止端部からの割れを防止するために仕上げを行うことがあり、この場合も前述した方法にて仕上げるのがよい。

5.11 溶接施工記録

溶接工程においては、設計で要求される継手の性能を確保されていることを保証するために、溶接工程中の施工内容や施工結果を必要に応じて記録するものとする。

【解説】

最終的な溶接継手の性能の確認は、製作した鋼構造物にて破壊試験を行うことは困難であり、溶接後の非破壊検査などの品質検査にて行われる。しかし、非破壊検査などの品質検査だけでは溶接継手の性能を保証することは難しい。このため、溶接継手の性能を確保するために計画した溶接施工要領書に沿って正しく施工することが重要であり、これを保証するために、溶接工程中の施工内容や施工結果を記録しておくことが望ましい。また、この記録は溶接部に不適合が生じた場合の原因究明にも重要な資料であり、トレーサビリティを確保しておくことが望ましい。溶接工程中の施工内容や施工結果の項目として以下に示すものがあり、必要に応じて記録する項目を選択するのがよい。

施工月日

天候・温度・湿度

溶接作業者

溶接継手の位置・形状

溶接方法

溶接姿勢

溶接材料（被覆アーク溶接の場合は乾燥・保温状態含む）

予熱温度

溶接条件（電流・電圧・速度・入熱量）

積層方法

パス間温度

外部きず検査結果

内部きず検査結果

不適合があった場合の処置方法とその結果

第5章の参考文献

産報出版(2005): 溶接・接合技術特論

日本道路協会(2002a): 道路橋示方書・同解説 鋼橋編

日本鉄道施設協会(2005): 土木工事標準仕様書(東日本旅客鉄道株編)

AWS(2004): AWS D1.1 Structural Welding Code Steel

CEN(2004): EN287-1 Welder Approval Testing

ISO(1997): ISO 10721-2 INTERNATIONAL STANDARD “Steel Structures Part2 Fabrication and erection”

日本鋼構造協会技術委員会溶接割れ研究班: 鋼構造物における溶接割れ防止のための予熱条件の選定について, JSSC , Vol.8/No.80 , P22

本州四国連絡橋公団(1993): 鋼橋等製作基準,

株神戸製鋼所(1985): 溶接継手の性能に及ぼす風の影響, 第107回造船溶接施工委員会資料

株神戸製鋼所(1998): マグ・ミグ溶接の気孔欠陥とその防止方法, 溶接だより技術がいで, Vol.38/No.339

日本建築学会(2007): 鉄骨工事技術指針 工場製作編

日本橋梁建設協会(2005): 現場溶接施工管理の手引き

CEN(1994): PrENV1090-1 Execution of steel structures-Part 1: General rules and rules for buildings

日本道路協会(2002b): 鋼道路橋の疲労設計指針

森猛, 猪股俊哉, 平山繁幸(2004): グラインダー仕上げ方法が面外ガセット溶接継手の疲労等級に及ぼす影響, 鋼構造論文集, Vol.11/No.42 , pp.55-65

第6章 その他の接合

6.1 高力ボルト摩擦接合と溶接の併用継手

6.1.1 高力ボルト摩擦接合と溶接の併用継手の施工上の要求性能

高力ボルト摩擦接合と溶接の併用継手は、完成後の継手が設計で定めた要求性能を満足するように施工しなければならない。

【解 説】

I形断面けたや箱形けた等の曲げモーメントを主として受ける部材において、一断面の中で、高力ボルト摩擦接合と溶接を併用する継手（以下、併用継手）が用いられる場合がある。併用継手には、上フランジを溶接としウェブと下フランジを高力ボルト摩擦接合とするもの（図-解6.1.1(a)）、上下フランジを溶接としウェブを高力ボルト摩擦接合とするもの（同(b)）など、様々な組合せがあるが、いずれの併用継手においても、設計で定めた要求性能を満足するように施工しなければならない。

なお、本示方書における併用継手を混用継手と呼ぶ場合や、高力ボルト摩擦接合と溶接とを1つの群に併用した継手を併用継手と呼ぶ場合があるので、他の図書類を参考にする際には注意が必要である。

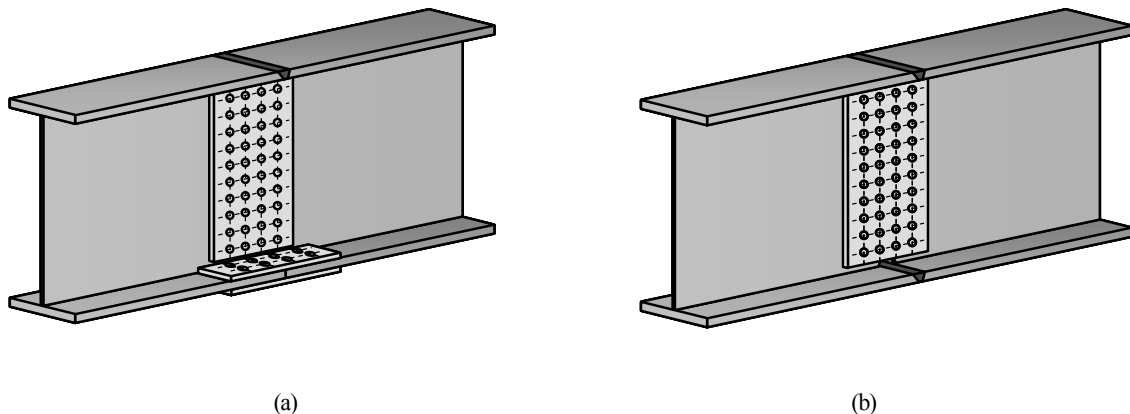


図-解 6.1.1 高力ボルト摩擦接合と溶接の併用継手の例

6.1.2 施工手順

高力ボルト摩擦接合と溶接の併用継手は、溶接に対する拘束を小さくし、かつ溶接変形に伴うボルト継手部のすべり耐力の低下が生じないような手順で施工しなければならない。

【解 説】

併用継手は、形状保持などを目的に高力ボルト継手部の一部を先締めした後、溶接施工を行える特徴がある。しかし一般に、溶接に先だつて高力ボルトを施工すると、溶接に伴う変形によりボルト継手部のすべり耐力が低下したり、溶接条件や拘束の程度によっては溶接部に割れが生じたりする可能性がある。逆に高力ボルトの締め付けに先だつて溶接を施工すると、溶接変形に伴って、ボルト孔位置のずれやキャンバー変化が生じる可能性がある。併用継手の施工にあたってはこれらの点に十分に配慮しなければならない。

曲げモーメントを主として受ける部材において、フランジ部を溶接、ウェブを高力ボルト摩擦接合とする場合

には、溶接の完了後に高力ボルトを締め付けるのがよい。道路橋示方書・同解説 [日本道路協会,2002] では、I形断面および箱形断面の一般的な鋼桁において、上フランジ（鋼床版を含む）を溶接とし、ウェブおよび下フランジを高力ボルト摩擦接合とする場合（図-解6.1.1(a)）には、上フランジの溶接前に、下フランジおよびその近傍（部材の中立軸より下方でウェブ高さの1/3程度）のウェブのボルトを締付けてもよいこととしている。ただし溶接継手部から十分に離れた位置において、高力ボルトを先締めしてもそれによる拘束の影響が小さく、溶接継手部に有害な欠陥が生じないこと、高力ボルト継手部のすべり耐力が設計での要求値を満足することが確認された場合には、その範囲内において高力ボルトを先締めしてもよい。

溶接に伴う変形を少なくする観点からは、ボルトの締め付けを先にすべきであるとの議論もあり、鋼構造接合部設計指針 [日本建築学会,2006] においてはそれを原則としているが、本示方書では過去の実績などを考慮し、溶接に対する拘束を少なくし、また、溶接に伴う変形によるすべり耐力の低下を防止するために、溶接後にボルトの締め付けを行うこととした。

上下フランジを溶接、ウェブを高力ボルト摩擦接合とする場合（図-解6.1.1(b)）で、上下フランジから離れたウェブ中央部のボルトを溶接前に締付けて施工された例がある。この場合、ボルトを先締めできる範囲については、それによる拘束の影響が小さいことを十分に確認した上で決定しなければならない。

フランジを高力ボルト摩擦接合としてウェブを溶接とするような併用継手など、それ以外の組み合わせの併用継手については、その使用実績も少なく、施工手順について不明な点も多い。したがって、そのような併用継手の施工については、施工手順が継手性能に及ぼす影響について十分に検討しなければならない。

6.1.3 高力ボルト継手の施工

高力ボルト継手部は、溶接による変形の影響について検討した上で、「第4章 高力ボルト接合」に従って施工しなければならない。

【解説】

溶接後に後締めを行うボルト継手部には、溶収縮に伴う変形により連結板と母材とのボルト孔位置のずれや桁のキャンバー変化等の生じる場合があるので、設計時に溶接変形による影響について予め検討し、必要に応じて拡大孔の使用等の対策を講じておかなければならない。

6.1.4 溶接継手の施工

溶接継手部は「第5章 溶接接合」に従って施工しなければならない。

【解説】

併用継手における溶接継手の施工方法や検査方法は、「5章 溶接接合」に従うものとする。

6.1.5 ボルトの仮締め

開先精度や部材形状を確保するために溶接前にボルトを一時的に仮締め付けする場合、それによって溶接による変形を拘束しないようにしなければならない。

【解説】

高力ボルトの締め付けに先だてて溶接を施工する場合で、開先精度や部材形状を確保するために溶接前にボルトを一時的に仮締め付けするような場合においては、溶接による変形を拘束しないように仮締め付けの範囲を決定しな

なければならない。また、仮締付けするボルトの締付け軸力は予備締付け程度とし、本締付けを行ってはならない。仮締付けを行った高力ボルトは溶接完了後に新しいものに取替えて本締付けを行わなければならない。

6.2 ピン継手

6.2.1 ピン継手の施工上の要求性能

ピン継手は、完成後の継手が設計で定めた要求性能を満足するように施工しなければならない。

【解 説】

ピン継手は、完成後の継手が設計で定めた軸力を確実に伝達でき、かつヒンジとしての回転が確保できるように施工しなければならない。

6.2.2 施工上の留意点

- (1) ピンで部材を連結する場合は、その連結部で部材が移動しないようにし、適当な方法でナットがゆるまないようにするものとする。また、ピンおよびピン孔は回転による摩擦の影響が少なくなるように配慮するものとする。
- (2) ピンとピン孔の直径の差は、ヒンジとして回転する限り、組み立てに無理のない範囲でなるべく小さくするものとする。

【解 説】

- (1) 部材をピンで連結する場合、部材の移動は振動の原因となり二次応力を生じるので、部材が定められた位置から移動しないようにカラーを用いる等の方法によって、部材片の位置を固定しなければならない。
- (2) ピンとピン孔の直径の差として、道路橋示方書・同解説[日本道路協会, 2002]や鉄道構造物等設計標準・同解説(鋼・合成構造物)[鉄道総合技術研究所, 2000]では、直径 130mm 以下のピンでは 0.5mm, それ以上で 1mm としてよいと規定しているので、これらを参考にしてよい。

6.3 普通ボルト継手

6.3.1 普通ボルト継手の施工上の要求性能

普通ボルト継手は、完成後の継手が設計で定めた要求性能を満足するように施工しなければならない。

【解 説】

普通ボルト継手に用いるボルトは「2.9 その他の材料」に示す品質のものを使用する。普通ボルト継手の接合方法としては支圧接合と軸力を導入しない引張接合があり、それぞれ応力の伝達機構が異なるので、施工に際してはその特徴を十分に理解し、継手に要求される性能を確保するよう施工しなければならない。

6.3.2 施工上の留意点

普通ボルト継手の施工にあたっては、ボルトが適切に締め付けられるよう留意する。

【解 説】

普通ボルト継手は軸力導入による接触力を利用した高力ボルト継手とは異なるため、高力ボルト継手に要求されるような軸力管理は一般には不要であるが、ボルトにゆるみのないよう、適切に締め付けなければならない。締め付け機を使用する場合にはあらかじめ検定を行った上で使用しなければならない。振動などによりゆるむ恐れのある箇所に使用する場合には、ゆるみ止めナットを使用するなど、ゆるみ止め対策を行うのがよい。

第6章の参考文献

日本道路協会(2002)：道路橋示方書・同解説Ⅱ 鋼橋編

日本建築学会(2006)：鋼構造接合部設計指針

鉄道総合技術研究所(2000)：鉄道構造物等設計標準・同解説（鋼・合成構造物）

第7章 部材精度

7.1 部材の精度確認

完成後の構造物が設計で想定した性能を満たすよう、また架設が確実にいえるよう、部材の精度を適切な計測方法で確認する必要がある。

【解説】

部材計測方法としては、スチールテープや差し金を用いて直接部材寸法を計測する方法や、光波測距儀により部材の座標を計測する方法がある。確保すべき部材精度は、構造物の形式や架設方法によっても異なるが、完成後の構造物が設計で想定している性能を満たすよう、また架設が確実にいえるように設定しなければならない。

例えば、道路橋示方書では表-解 7.1.1 ように規定されている。道路橋示方書 [日本道路協会,2002a]の測定箇所又は個数を表-解 7.1.2 に示す。また、他国の基準として、BS[BS5400 Pt6,1980]では、板の平面度、フランジの直線度、腹板の鉛直度等の局所的な変形の許容値が規定されているだけで、部材全体寸法を規定するものがない。また、AWS[AWS D1.5 - 95, 1995]では、部材の直線度、腹板の平面度、フランジの直角度等の局部変形以外に、腹板の高さ寸法の許容値が記載されている。それらの許容値を表-解 7.1.3 に示す。

部材計測を行った結果、予め定められた精度を満たさない場合には、原則として精度（許容値）を満たすように調整あるいは補修を行う。そのような場合の補修や調整方法については、廃棄を含めて予め決めておくことよい。部材を一部切断して再溶接する場合には、5章に示す溶接の方法に従う。ただし、部材補修では溶接姿勢が限定されることが考えられるため、注意が必要である。また、補修箇所は非破壊検査等で有害なきずがないことを確認する必要がある。予め定めた精度を満たさない部材を補修なしで使用せざるを得ない場合には、設計での要求性能を満足し、また架設上問題のないことを確認する必要がある。

表-解 7.1.1 部材の精度 (道路橋示方書)

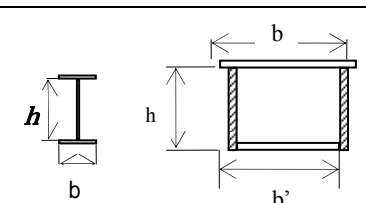
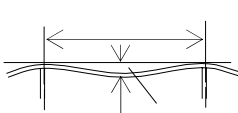
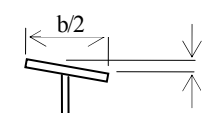
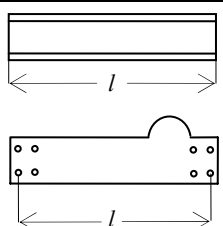
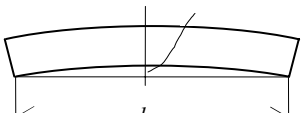
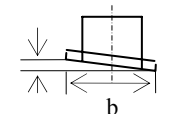
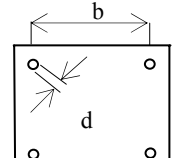
番号	項目	許容誤差	備考	測定方法	
1	フランジ幅 b (mm) 腹板高 h (mm) 腹板間隔 b' (mm)	$\pm 2 \dots \dots b \leq 0.5$ $\pm 3 \dots \dots 0.5 < b \leq 1.0$ $\pm 4 \dots \dots 1.0 < b \leq 2.0$ $\pm (3+b/2) \dots \dots 2.0 < b$	左欄の b は b, h 及び b' を代表したものである	 I型鋼げた トラス弦材	
2	板の平面度 δ (mm)	鋼げた及びトラス等の部材の腹板	$h/250$	h : 腹板高 (mm)	
		鋼げた及びトラス等のフランジ鋼床版のデッキプレート	$w/150$	w : 腹板又はリブの間隔 (mm)	
3	フランジの直角度 δ (mm)	$b/200$	b : フランジ幅 (mm)		
4	部材長 l (mm)	鋼げた	$\pm 3 \dots \dots l \leq 10$ $\pm 4 \dots \dots l > 10$		
		トラス, アーチ等	$\pm 3 \dots \dots l \leq 10$ $\pm 4 \dots \dots l > 10$		
		伸縮継手	$0 \sim 30$		
5	圧縮材の曲り δ (mm)	$l/1000$	l : 部材長 (mm)		
6	鋼製橋脚柱とベースプレートの鉛直度 δ (mm)	$b/500$	b : 孔中心間距離 (mm)	 脚柱 ベースプレート	
7	脚プレート	孔の位置	± 2	d : 孔の直径 (mm)	
		孔の径			

表-解 7.1.2 部材の計測箇所又は個数 (道路橋示方書)

番号	項目		鋼げた	トラス・アーチなど
1	フランジ幅 b(m)	腹板高 h(m) 腹板間隔 b(m)	主構	各支点および各支間中央付近
2	板の平面度 δ (mm)	鋼げたおよびトラスなどの部材の腹板	鋼げた	各支点および各支間中央付近
		箱げたおよびトラスなどのフランジ,鋼床版のデッキプレート		
3	フランジの直角度 δ (mm)			
4	部材長 l(mm)	鋼げた	原則として仮組立をしない部材について	
		トラス・アーチなど	主要部材全数	
		伸縮継手	製品全般	
5	圧縮材の曲がり δ (mm)			主要部材全数
6	鋼製	脚柱とベースプレートの鉛直度 δ(mm)		各脚柱・ベースプレート
7	橋脚	ベースプレート	孔の位置 b(mm)	全数
			孔の径 d(mm)	全数

表-解 7.1.3 部材の精度 (AWS, 1995)

項目	許容値	
3.5.1.1 柱およびトラス部材の直線度	部材長 30ft 未満	$1/8 \text{ in.} \times \frac{\text{全長(ft)}}{10}$
	部材長 30ft 以上 45ft 以下	3/8 in.
	部材長 45ft を超えるもの	$3/8 \text{ in.} + 1/8 \text{ in.} \times \frac{\text{全長 (ft)}}{10}$
3.5.1.2 梁の直線度		$1/8 \text{ in.} \times \frac{\text{全長(ft)}}{10}$ (3.5.1.4 も同様)
3.5.1.5 フランジとウェブの中心線のずれ		1/4 in.以下
9.19.2 ウェブの平坦度 9.19 項の記述に従うこと		
9.19.2 ウェブの平坦度 D:ウェブ高さ t:ウェブ板厚 d:パネル最小寸法	補剛材がウェブの両面にある場合	内桁 D/t<150 平坦度=d/115
		D/t 150 平坦度=d/92
		外桁 D/t<150 平坦度=d/130

(Appendix 参照のこと)		D/t 150 平坦度=d/105
	補剛材がウェブの片面にだけ ある場合	内桁 D/t<150 平坦度=d/100 D/t 150 平坦度=d/67 外桁 D/t<150 平坦度=d/120 D/t 150 平坦度=d/80
	補剛材がない場合	平坦度=d/150
3.5.1.3 工場組立時のカンバー許容値	一般的な橋梁(コンクリート床 版のハンチがある場合)	スパンが 100ft 以上 スパン中央で -0, +1-1/2 in. スパンが 100ft 未満 スパン中央で -0,+3/4 in. 端部支点で 0 中間支点で -0, $\frac{+4(a)b(1-\frac{a}{S})}{S}$ a:計測点から支点までの距離(ft) S:支間長(ft) b:1-1/2 in. 支間長が 100ft 以上の場 合 3/4 in. 支間長が 100ft 未満の場 合
	コンクリート床版のハンチが ない橋梁の場合	スパンが 100ft 以上 スパン中央で -0, +3/4 in. スパンが 100ft 未満 スパン中央で -0, +3/8 in. 端部支点で 0 中間支点で -0, $\frac{+4(a)b(1-\frac{a}{S})}{S}$ a:計測点から支点までの距離(ft) S:支間長(ft) b:4/8 in. 支間長が 100ft 以上の場 合 3/8 in. 支間長が 100ft 未満の場 合
3.5.1.4 桁の通り		$\frac{1}{8} \text{ in.} \times \frac{\text{全長(ft)}}{10}$
3.5.1.7 フランジの直角度		フランジ幅の 1/100 または 1/4 in. の大きい 方
3.5.1.8 ウェブ高さ	ウェブ高さ 900mm 以下	±3mm
	ウェブ高さ 900mm 超,1800mm	±5mm

	以下	
	ウェブ高さ 1800mm 超	-4mm , +8mm

7.2 連結部精度

完成後の構造物が設計で想定した性能を満たすよう、また架設が確実にいえるよう、連結部の精度を適切な計測方法で確認する必要がある。

【解説】

部材を連結するための連結部の精度を、スティールテープなどを用いて確認する。例えば、ボルト継手であれば、部材と連結板に設けた円孔の大きさや位置が計測対象となる。円孔の精度確保においては、部材・連結板の孔加工の方法やその精度管理が重要である。連結部の精度確認は、主要部材だけではなく付属物についても必要である。溶接継手では、目違いやルートギャップに注意が必要である。

第7章の参考文献

日本道路協会 (2002 a) : 道路橋示方書・同解説 鋼橋編

AWS (1995) : AWS D1.5 Bridge Welding Code

BS (1980) : BS5400 Steel, concrete and composite bridges-Part6. Specification for materials and workmanship, steel

第8章 防食

8.1 防食に求められる要求性能

鋼構造物およびコンクリート内部の鋼材は、設計で要求された防食性能を満足するように施工する。なお、施工に対する照査は以下に示す方法で行ってよい。

- (1) 塗装は、設計で考慮した防食性能に応じた材料、塗装手順および塗装方法が選定されていることを確認する。
- (2) 耐候性鋼、溶融亜鉛めっき、金属溶射およびその他の防食方法は、設計で考慮した材料、施工手順および施工方法が選定されていることを確認する。
- (3) コンクリート内部の鋼材は、設計で考慮した材料、施工手順および施工方法が選定されていることを確認する。

【解 説】

大気中の鋼材腐食は水と酸素によって発生し、塩化物やいおう酸化物などの環境因子によって促進される。鋼構造物の腐食形態や腐食速度は、その鋼構造物が設置されている環境や構造によって異なり、雨水や結露による濡れ時間や温度、構造物の形状や部位によっても異なる。

鋼材を腐食させないためには適切な防食を行っておく必要がある。鋼材の防食方法としては、塗装、めっき、溶射およびクラッドなど鋼材表面に被覆する方法、耐候性鋼やステンレス材など耐食材料を用いる方法、腐食抑制剤（インヒビター）や除湿など環境改善による方法、そして電気防食による方法などが用いられているが、これらのうち鋼構造物の防食方法として一般に用いられている方法は、塗装、溶融亜鉛めっきおよび耐候性鋼である。

鋼材が腐食して局部的に板厚が減少すると、耐荷性能や耐疲労性能が低下して構造物の機能が阻害されることがある。鋼構造物の防食に求められる要求性能は、鋼構造物の機能が低下しないようにあるいは低下してもある限度内に収まるように鋼材の断面減少を防ぐことにあるが、近年では防食だけでなく景観や美観さらには環境負荷低減や安全の確保も求められる。

鋼構造物の防食は、その鋼構造物が使用される環境において必要な耐久性能が得られなければならないが、防食方法ごとに適用できる部材の規模や形状などが制約されることや、防食性能を維持するために必要な点検・評価手法や補修方法も異なっている。したがって、鋼構造物の防食方法の選定にあたっては耐久性能、景観、環境負荷低減や安全性などの要求に応じて対応する必要がある。

鋼構造物の防食性能の照査すなわち耐腐食性に対する照査では、その防食方法の防食機構や耐久性能が何らかの方法で明らかにされていることが不可欠である。塗装や溶融亜鉛めっきは防食機構が明らかになっており、耐久性能を推定する手法も確立されている。また、耐候性鋼については、さびの安定化状態によって耐久性能を把握することが可能である。しかし、防食機構や耐久性能が明らかにされていない防食方法を選定する場合には、効果的かつ実効性のある維持管理を行うことができないので十分に注意する必要がある。

なお、塗装、溶融亜鉛めっきおよび耐候性鋼については、これまでの使用実績や暴露・促進試験などの結果から、適切な防食設計・施工および維持管理が行われている場合には要求性能を満足させることができると考えられる。これらの防食方法について防食機構および性能の低下形態を表-解 8.1.1 に示す。

表-解8.1.1 鋼構造物の代表的な防食工法

防食方法	防食機構	防食性能の低下形態
塗装	塗膜による環境遮断	塗膜の劣化
溶融亜鉛めっき	亜鉛皮膜による環境遮断と亜鉛の自己犠牲防食	亜鉛層の減少
耐候性鋼	ち密なさび層による腐食速度の抑制	層状さびの発生, 断面減少

(1) 塗装は、色彩や光沢を自由に選択でき、かつ変更も容易であり、様々な腐食環境や構造に対応できるもっとも汎用性の広い防食方法であるが、定期的な塗替えによる防食性能の維持が必要である。

塗膜の劣化は、塗膜の強さと鋼構造物のおかれた環境での腐食因子との関係から決まるため、鋼構造物が建設される環境によって塗装系・塗装仕様が決定されている。塗装で特徴的なことは、防食性能を有する下塗りと耐候性能を有する上塗りとを組み合わせ、いわゆる塗装系の使い分けである。一般的には、マイルドな腐食環境では一般塗装系が用いられ、厳しい腐食環境では重防食塗装系が用いられている。したがって耐腐食性に対する塗装の照査は、設計で要求された塗装系・塗装仕様を確認することにより行う。

なお、新設橋梁の塗装は、素地調整から上塗りまでの全塗装工程を塗装環境の整備された工場内で行う、いわゆる全工場塗装を原則とする。

(2) 耐候性鋼は、鋼材に微量のりん、銅、クロム、ニッケル、モリブデン、シリコンなどを添加することにより、溶接性などの所要特性をあまり損なうことなく耐食性を向上させた鋼材であり、耐候性鋼をそのまま大気中に暴露しておくとも暗褐色のち密なさびが形成され、やがて腐食がほとんど進まなくなる。この安定したち密なさび層は、酸素など腐食因子から金属を遮断することで設計供用期間中の防食性能を維持する。

耐候性鋼の使用方法は塗装使用と無塗装使用とに大別され、さらに無塗装使用は裸使用とさび安定化処理(化成処理)の二つの方法に分けられる。裸使用はそのまま素地で用いるもので耐候性鋼の持つ特性を生かしたもっとも経済的な使用方法であるが、さびが安定化するまでの初期段階ではさび汁の流出やさびむらなどが問題となる。さび安定化処理は裸使用の問題点を解決すべく、表面に特殊な化成処理をしたものである。塗装使用は普通鋼の場合と同様な使い方であるが、耐候性鋼に塗装をすることは耐候性鋼の特性を生かすことにはならず、また不経済になる。

耐候性鋼は、適度な乾湿繰り返しによって安定化したち密なさび層が形成されるが、飛来塩分量の影響を受ける場合や凍結防止剤の影響を受ける場合、さらには漏水の影響を受ける場合などではち密なさび層の形成が遅れたり形成されなかったりして腐食が抑制されないことのあることから、さび安定化に適した環境条件下で用いる。耐候性鋼の使用については、飛来塩分量が 0.05mdd ($\text{NaCl} : \text{mg}/100\text{cm}^2/\text{day}$) を超えない地域あるいは海岸線から一定の距離にある地域では無塗装で橋梁に用いることができるとされているが[建設省土木研究所 他, 1993]、鋼構造物への塩分付着量はその鋼構造物の設置されている地形や気象条件、さらには鋼構造物の構造などによって異なることから、飛来塩分量だけで耐候性鋼の無塗装使用を決定することは避けなければならない。鋼構造物の設置が決まったら、少なくとも設置の一年前から設置予定地において飛来塩分量を測定し、鋼構造物への塩分付着量を推定するとよい。耐候性鋼の無塗装使用については、設計施工上の留意点について具体的な留意点がまとめられている文献[日本道路公団 他, 1999]もあり参考になる。

最近、流れさび防止やち密なさびの形成促進のための表面処理方法や耐塩性能を向上させたニッケル系高耐候性鋼が開発され、鋼構造物への適用実績も増えているが、これらの適用にあたっては、鋼構造物の設置される腐食環境を十分に考慮して耐腐食性の照査を行うことが必要である。

溶融亜鉛めっきは440 前後の溶融した亜鉛中に鋼材を浸せし、その表面に鉄と亜鉛の合金層と純亜鉛層からなる皮膜を形成し、環境中で表面に形成される酸化皮膜による保護効果と亜鉛の犠牲防食効果により鋼材の腐食を抑制するものである。亜鉛めっきが完全に連続して被覆されている場合には防食性能には問題がないが、亜鉛皮膜の一部が欠落して鋼材素地が露出した面が雨水や結露などの電解質水溶液で覆われると電気化学的な防食作用が始まる。この場合、周囲の亜鉛がアノード（陽イオン）となり、鋼材がカソード（陰イオン）となる防食電池が形成され、亜鉛がイオン化することで鋼材の腐食を防止する犠牲的防食作用と考えられている。

亜鉛めっきは海岸など潮風や海水の影響を受ける場合には保護被膜が形成されにくく、亜鉛層および合金層が消耗していくため将来的には塗装による補修が必要となる。また、設計にあたっては亜鉛めっき槽による部材寸法の制限や、めっき時のやけ・変形に対する材料や構造上の配慮が必要となる。

防食性能を發揮させるには各種防食法の特徴と防食機構を十分に理解しておくほか、鋼構造物の構造や鋼材の使用方法についても配慮する必要がある。また、様々な鋼材を使用した場合に生じる恐れのある異種金属接触腐食や、溶接によって不均一な材質になり腐食電池が発生しやすくなる溶接部などについても留意する必要がある。溶融亜鉛めっきの防食耐用年数は、亜鉛の付着量と環境区分により次式によって求められる。

$$\text{耐用年数} = (\text{亜鉛付着量}(\text{g/m}^2) - \text{腐食残量}(\text{g/m}^2)) / \text{頻発度量}(\text{g/m}^2/\text{年})$$

ここで、頻発度量とは年間腐食減量値($\text{g/m}^2/\text{年}$)で、海岸、都市、山間、田園部の腐食環境に応じて数値が設定されている。溶融亜鉛めっき皮膜の年間腐食減量は表-解 8.1.2 のようになっている[日本鋼構造協会,2002]。

表-解 8.1.2 使用環境とめっき皮膜の年間腐食減量

環境区分		年間腐食減量値 ($\text{g/m}^2/\text{年}$)	頻発度量($\text{g/m}^2/\text{年}$)	
大気汚染のない山間、田園地域		3～10	5	
人工過密地域および工業地域		7～20	都市部	8
海岸 地域	平常時は海水飛沫を受けない海岸地域	10～30	工場地域	10
			一般の海岸で海岸より0.5～2km 地域	10
	頻繁に海水飛沫を受ける海岸地域	30～200	その他上記より厳しいところ	20
			非常に過酷な腐食性地域	50

亜鉛付着量 (g/m^2) : 橋梁の場合 $550 \text{ g/m}^2 \sim 600 \text{ g/m}^2$ の付着量で設計される。

腐食残量 (g/m^2) : 付着量の10%と設定する。

頻発度量 ($\text{g/m}^2/\text{年}$) : 長期に耐用下した場合における年間腐食減量値のそれぞれの地域での代表値

(3) 鋼材（炭素鋼）は、pH10以上のアルカリ性環境では不動態化し腐食しなくなることから、コンクリート中の鉄筋は良好な防食性能を示す。しかし、塩化物イオンが一定量以上浸入すると不動態皮膜が破壊され、強アルカリ環境下でも鋼材は腐食する。コンクリート中への塩化物イオンの浸透は、もともと細骨材の中に含まれていたものとコンクリート表面に付着したものが内部へ浸透するものがあるが、JISにはフレッシュコンクリート中の塩化物イオン量が規定されており、現在問題となっている塩害のほとんどは表面からの浸透である。

コンクリート中に塩化物イオンが浸透し、鋼材位置での塩化物イオン濃度が限界を超えると鋼材の腐食が始まる。腐食によって生じるさびは鉄筋の2倍以上の体積を持つので、その内圧によってコンクリートにはひび割れが生じ、コンクリートの破壊が進む一方、浸透する水や空気によって鋼材の腐食は促進され、さらにひび割れが発生するという悪循環を招くことになる。また、コンクリートは空気中の二酸化炭素がコンクリートのアルカリ分と反応してアルカリ性が失われ、中性化していく。

コンクリートは、設計供用期間中、中性化深さが鋼材腐食発生限界深さ以下であること、鋼材位置における塩化物イオン濃度が鋼材腐食発生限界濃度以下であることを照査すればよいことになっている。1975年頃まではコンクリートのかぶり厚さによって腐食に対応していたが、その後は水密性および通気性を配慮して水セメント比を低下させることによって塩化物イオンの浸透を遅くする対応を行っている。しかし、コンクリートのかぶり厚さを厚めにとることは構造物の死荷重の増大をもたらすため、鋼材にはエポキシ樹脂によるコーティングやめっき、コンクリート表面への塗装や樹脂モルタルライニングなどの方法も行われている。

中性化深さを予測する方法としては、中性化時間が水セメント比に逆比例し、深さに比例するという関係がよく用いられており、中性化対策としては、水結合材比とセメントの種類による中性化速度係数を使って求めた中性化深さの設計値が、かぶりの期待値から中性化残りを差し引いて求められる鋼材腐食発生限界深さ以下であることを照査して行われている。

コンクリート中の塩化物イオンは、上記でも述べたようにほとんどの場合はコンクリート表面に付着したものが浸透することによって存在する。海岸近くの構造物に付着した海塩粒子や、橋梁の場合には凍結防止剤として路面に散布されたNaClなどが雨水などとともにコンクリート中に浸透する。塩化物イオンは、それ自体は鋼材と反応するわけではないが、イオンの存在は鋼材周辺に腐食電池を形成し、酸素との反応を助ける。設計供用期間中における鋼材位置での塩化物イオン濃度は、コンクリート表面における想定塩化物イオン濃度やコンクリートの塩化物イオンに対する拡散係数等を用いて、コンクリート中の塩化物イオンの移動に及ぼすひび割れの影響を考慮して算定している。したがって、水セメント比を小さくし、透水係数の小さいコンクリートを打設するとともに、鋼材位置における塩化物イオン濃度が鋼材腐食発生限界濃度以下であることを照査した上でかぶり厚さを十分に確保することで対応している。

8.2 塗装

鋼構造物面への塗装は、設計で考慮された防食設計を満足する材料および塗装方法で行う。

8.2.1 施工計画

(1) 施工計画書

設計で考慮した要求性能が確保できるように施工計画を立案する。

(2) 塗装作業員および塗装管理者

塗装作業員は、使用する塗料や塗装方法に関して十分な知識と経験を必要とする。また、塗装管理者は塗料や塗装方法に関して十分な知識と経験を持つとともに、塗装作業全般にわたって管理できる能力を必要とする。

【解説】

- (1) 一般に、施工計画書には工事概要、工程表、施工体制、使用材料、使用器具、仮設備、施工方法、施工管理、安全管理および環境対策などが記載される。

特に、塗料は樹脂、顔料、溶剤から成り、これらの成分の内容によって、引火、爆発などの危険の他に、作業員自身の健康障害に影響を及ぼすことがある。これらの悪影響を防ぐために取り扱い上の諸規定が定められているので、作業に当たっては十分に認識しておく必要がある。安全管理に関する諸規定には次のようなものがある。

消防法

有機溶剤中毒予防規則

毒物および劇物取締法
 特定化学物質等障害予防規則
 廃棄物の処理および清掃に関する法律
 鉛中毒予防規則
 大気汚染防止法
 悪臭防止法

- (2) 塗装の作業工程のほとんどは手作業であり、溶接作業と同じように塗装作業者の技能レベルが施工品質に顕著に現れる。特に、塗替え塗装では、塗替え塗膜の耐久性に大きな影響を与える劣化塗膜と健全活膜を区別する判断が求められる、塗装作業には豊富な経験と知識が求められる。また、塗装の作業管理は多岐に渡る管理項目を整理しながら進める必要があり、品質を確保するためには塗装管理者の配置が必要である。塗装管理者の資格としては、橋梁塗装の場合には二級土木施工管理技士に鋼橋塗装に関する技術検定制度があるが、橋梁の塗装作業を管理する塗装管理者にはこのような資格保有者が望ましい。

塗装管理者は、塗装の作業状況を記録しておくようにする。施工記録は、塗装作業が良好な状態で行われていることを確認するとともに、事後に塗膜に変状が生じた場合の原因調査や対策検討にあたって必要な情報である。施工記録には、使用材料、塗料の調合、塗装時の温度・湿度、素地調整時の作業状況、塗装時の作業状況、塗重ね間隔などが記録される。施工記録は、塗膜という製品の品質保証上のトレーサビリティ確保を考えると必要な記録となる。

8.2.2 塗料

(1) 塗料の選定と確認

使用する塗料は、設計で考慮した防食性能を満足するものを選定し、適切な方法で塗料の品質を確認する。

(2) 塗料の保管と取り扱い

塗料は、塗料の品質や特性が損なわれないようにするとともに、安全に保管する。

【解説】

- (1) 金属の腐食は一般には電気化学反応による腐食であり、水（電解溶液）と酸素の存在下でアノード（陽極）とカソード（陰極）の両極が作られ、その間に局部電池が生じることで生じる。したがって、水や酸素を遮断することによって金属面は防食される。塗装による防食は、塗膜による腐食因子（水、酸素、酸類、塩類など）の遮断を第一の目的としており、塗膜を形成する塗料の種類は多岐にわたっている。

塗料は金属面に塗装することにより塗膜を形成し、腐食因子を遮断するが、適切な防食設計によって設計された塗料でなければ長期的な防食効果は期待できない。また、塗料を塗り重ねて塗装系を形成し、塗膜の防食性能を発揮させるためには塗膜各層の相互作用に配慮することが重要であり、塗り重ねの適否によって相剥性不良が生じることがある。このため、使用する塗料は、設計において考慮された塗装系、塗装仕様に適合したものであることを確認するとともに、塗装系として塗料メーカーが品質を保証したものを使用する。塗料の品質確認は、塗料メーカーの品質規格試験成績書によって行うが、使用塗料が複数の製造ロットにわたる場合は製造ロットごとに品質規格試験成績書が必要となる。

なお、使用する塗料はVOC（揮発性有機化合物）を低減した塗料や、鉛やクロムなど有害重金属を含まない塗料を使用することが望ましい。

- (2) 塗料は、施工計画書に基づいて適正に保管する。製造後長期間経過して変質した可能性のある塗料や長時間

経過した塗料を使用する場合は、塗料メーカーの確認が必要となる。塗料や希釈剤は消防法による第四類危険物であり、また、発生したガスの濃度が高くなると人体に有害であることから取扱いには十分に注意が必要である。

8.2.3 工場塗装

(1) 溶断・溶接後の処理

溶接・溶断後の鋼材は、品質に影響しない範囲で、異物や表面の傷を取り除く。

(2) 摩擦接合部の処理

高力ボルト継手の摩擦接合面への塗装は、設計で要求されたすべり係数を満足する塗料を選定する。

(3) 塗装環境

工場内で塗装する場合は、塗装期間中、塗装面に飛来塩分やじん埃などが付着しないようにするとともに、温度および湿度管理を適切に行う。

【解説】

(1) 部材のけ書きに使用した塗料は塗装工程前に除去する。また、鋼材の溶断部は品質に影響を与えない範囲で異物や表面の傷を取り除く。鋼材表面をできるだけ平滑に仕上げると塗膜厚が均一になるので防食性能が向上する。なお、部材端部は塗料の付着量が少なく塗膜厚が薄くなるので、面取りを行うと防食性能は向上する。面取りは局面仕上げ(R面取り)が望ましく、実験によると、平面部の目標膜厚を160 μm としたときの部材端部の塗膜厚は面取りしていない場合には約40%、2Rの面取りを行った場合には約70%程度の塗膜厚を確保することができる(図-解 8.2.1 参照)[日本道路公団, 1994]、部材端部やすみ肉溶接個所の止端部のまわし溶接部や溶接ビード部など、塗膜厚が確保しにくい箇所については先行塗装などを行い、所定の塗膜厚を確保できるように検討する。

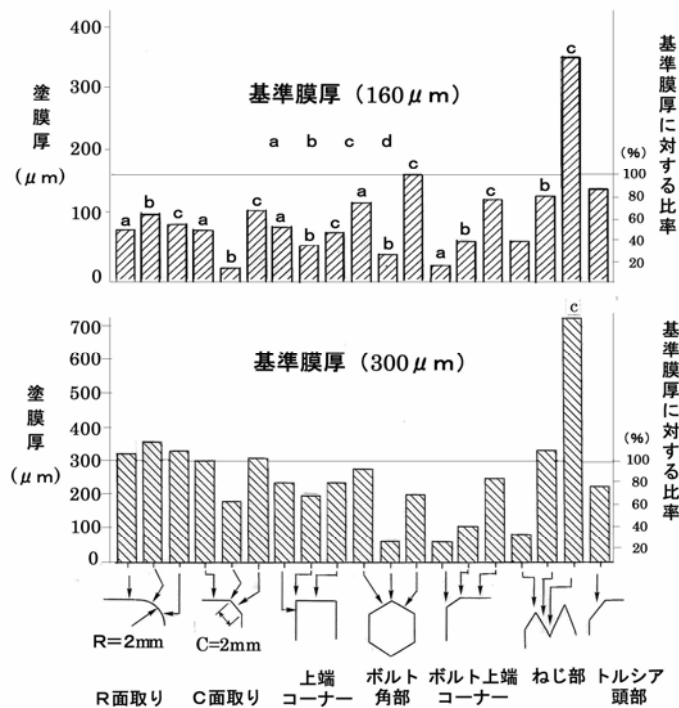


図-解 8.2.1 端部仕上げ形状と塗膜厚

- (2) 高力ボルト継手の摩擦接合面を塗装する場合は、設計で考慮したすべり係数に応じて無機ジンクリッチペイントあるいは高摩擦有機ジンクリッチペイントを塗装する。
- (3) 工場で塗装する場合は、塗装面に塩分やじん埃などの付着の恐れがない場所で塗装する。屋外で塗装する場合は、塗装面に飛来塩分量や浮遊物質など塗膜性能に悪影響を及ぼす物質が付着しないように十分に検討する。また塗装前、塗装中および上塗り塗装完了後塗膜が完全に硬化するまでの間に塩分やじん埃などが付着した場合あるいはその恐れがあると思われる場合には水洗いなどを行う必要がある。



写真-解 8.2.1 工場塗装

8.2.4 現場塗装

(1) 周辺環境への配慮

現場で塗装する場合は、周辺環境に悪影響を及ぼさないように十分に配慮する。

(2) 塗装作業

塗装方法は、現場に適した機器および方法で行う。

(3) 塗装作業禁止の条件

塗装時の作業環境、塗装面の条件および塗料の状態が、塗装の品質を確保できないような条件では現場塗装は行わない。

【解説】

- (1) 現場で行う塗装作業では、素地調整時における粉じんの飛散や塗装時における塗料の飛散によって周辺環境に悪影響を及ぼす可能性が高いことから、適切な飛散防止施設を設置するとともに、強風など飛散の恐れのある気象状況の場合には作業を中止するなどの対策が必要となる。また、海上や河川上などでは比較的飛散防止対策がおろそかになることがあるが、通行者や通行車両など第三者に対する配慮と同様に十分に注意する必要がある。
- (2) はけ塗りは作業能率こそ低いものの、部材の形状を問わず良好な塗装作業が行える利点を持つ。しかし、この方法は塗装品質が塗装作業者の技量に左右され、技量が劣る場合には塗膜厚が不均一になったり、塗り残し、流れ、むら等の欠陥を生じたりすることがある。また、1回の塗布量には限度があるので厚膜形塗料の塗布には塗装回数を増さなければならない。

エアレススプレー塗りは、塗料を直接加圧して、ノズルチップから霧状になった塗料を吹き付ける方法で、施工能率が良く、均一な厚さに塗装しやすいためにエポキシ樹脂塗料のような厚膜形塗料の塗装に適している。塗装の品質としては、エアレススプレーによって塗装するのがよいが、霧状化した塗料が飛散しやすく周辺環境への影響が大きいことから、十分な飛散防止対策を講じる必要がある。

なお、エアレススプレーによる塗装は、はけ塗りに比べて塗料の飛散による損失量が20～40%と多く、複雑な形状のものや部材の細部や端部の塗布作業ではエアレススプレー塗りに先行してはけ塗りをを行い、塗膜が薄くなるのを防止するのが一般的である。

ローラー塗りは塗装作業にあまり熟練を必要とせず、平滑な一定の大きさの面を塗装する場合には、はけ塗りよりも塗装能率は良く均一な塗膜厚が得られやすい。特に、厚膜形塗料の塗装作業には優れているが、凹凸面、細部材、間隙部など複雑な塗装面では作業性が劣り、塗料の種類によってはローラー塗りのための添加剤を必要とするものもある。また、仕上がり面の塗膜の光沢は微細な山立ちのために乱反射を生じ、他の塗装方法に比べて見劣りがするために鋼橋には使用されていない。

- (3) 塗装時の作業環境、被塗装面および塗料が次に示してある状態の場合には塗装を行ってはならない。

気温および湿度が、使用する塗料の制限を超える場合

降雨、降雪および強風の場合あるいはその恐れがある場合

塗装面が結露等で濡れている場合および引き続きその状態が持続されると予想される場合

塗装面の表面温度が、使用する塗料の規定温度以下あるいは50 以上の場合

塗膜の乾燥（硬化）中に異物の付着が予想される場合

規定の素地調整が行われていない場合

規定の塗り重ね間隔をとっていない場合

塗装面に泥、油脂、ごみ、ほこり等が付着している場合

使用する塗料に規定された可使用時間を超えている場合

塗料が十分に混合、かく拌されず、また希釈され過ぎている場合

塗装作業時の気象条件は、塗装作業ばかりではなく塗膜の性能に大きな影響を与えるので十分に注意しなければならない。塗料は気温が低いと乾燥（硬化）が遅くなり、じん埃や腐食性物質の付着あるいは気象の急変などによる悪影響を受けやすくなるとともに、塗料の粘度が増大して作業性も悪くなる。塗料の粘度が増大して作業性が悪くなると、希釈剤をさらに添加し粘度調整をすることが考えられるが、この結果塗膜は薄くなり防食効果は減少するので絶対に行ってはならない。また、低温時には塗装面に水分が残っていることが多く、これが防食性能に悪影響を与えることも低温時の塗装を避ける大きな理由の一つである。

気温は日没前後から急に下がるので、日没ぎりぎりまで塗装作業を続けることは避けなければならない。日没の2時間ぐらい前には塗装作業を打ち切り、乾燥させるような日工程を組むようにする。逆に気温の高いときは乾燥（硬化）が速くなり、多液形塗料では可使用時間が短くなる。また、炎天下で塗装面の温度が極端に高くなっている場合は、塗料中の溶剤蒸発が急激に起こり塗膜にあわを生じることがある。そのため、塗装面の上限温度を50 以下にするのがよい。特に揮発乾燥形塗料や付加重合乾燥形塗料では十分な注意が必要である。

湿度が高いと揮発乾燥形塗料や溶剤を多く含んだ塗料では、溶剤蒸発によって蒸発潜熱が奪われて塗膜の表面温度が急速に降下する。このため大気中の水分が塗装面に凝縮して白化現象が生じやすくなる。結露を生じた塗装面に塗装すると、水分が塗料中に混入しピンホール発生の原因や塗膜はく離の原因となる。また、未乾燥塗膜面に結露すると白化、光沢消失、ふくれなどの塗膜欠陥を生じ、耐候性能が著しく低下する。結露は気温、湿度、塗装面の関係が露点条件を満たすときに生じるものであるため、塗装作業中もこれらの測定を行い結露の可能性を予知することが大切である。相対湿度が85%以上の場合には塗装作業を行ってはならない。

塗装作業中に降雨、降雪があると塗料が流されて塗膜を形成しない。また、未乾燥塗膜に降雨、降雪があると、塗膜に斑点状の白化を生じたり、ふくれや凹凸が発生したりする。降雨や降雪に直接当たらない部分

でも高湿度と結露の関係から塗装を行ってはならない。降雨や降雪の時はもちろん、その恐れがある場合にも塗装作業を行ってはならない。降霜の場合も同様である。

特に風の強い日の塗装作業は行ってはならない。風の強いときは塗料中の溶剤の蒸発が早まり上乾きによって作業性が低下するとともに、塗料ミストの飛散量や範囲が大きくなり環境汚染が生じる。また、未乾燥塗膜に砂塵、飛来塩分、ほこりなどが付着すると塗膜の防食力や耐久性が著しく低下し早期に塗膜劣化が生じる。特に、海岸の近くでは海塩粒子の付着量が多くなるため注意が必要である。強風下での塗装作業は、塗膜の性能低下ばかりでなく作業の安全性でも注意が必要である。高所作業での安全が損なわれる場合には作業は中止しなければならない。作業を中止する場合の風速についての規定はないが、おおむね5m/sec程度以上では十分に注意しなければならない。

なお、規定の素地調整が行われていない場合には、いかなる理由といえども塗装作業を行ってはならない。そのほか、塗装管理者や塗装作業者が塗料の性質や使用法を理解していないと思われる場合、足場工や防護工が万全でなく作業の危険性や塗料等の飛散が考えられる場合、塗料の性状にあった塗装方法や塗装用具が準備されていない場合、塗料等に引火の恐れがある場合、塗料開缶時の品質確認が行われていない場合などは塗装作業を行ってはならない。

塗装方法や作業条件に問題があった場合は、塗装後の早い時期に塗膜欠陥が発生することがある。塗膜欠陥が発見された場合は欠陥原因を調査し、欠陥の種類に応じた塗り直しを行わなければならない。

8.2.5 素地調整の方法と品質確認

素地調整は、選定された塗料に適した方法で行い、仕上がり品質が所定の除錆程度であることを確認する。

【解説】

鋼材の表面には、熱間圧延加工を受けた際に黒皮（ミルスケール）が生成される。黒皮は薄膜であるため若干のピンホールやクラックなどがあり、暴露により発錆して黒皮の付着性は低下する。また、機械加工時や保管時には油脂分が付着したり、さびが生じたりする。塗膜性能を十分に発揮させるためには、素地調整を行って所定の除錆程度を確保するとともに、塗装面にあるこれらの異物を除去する必要がある。

新設塗装の素地調整は、加工前の鋼材（原板）に行う原板ブラストと加工後の部材に行う製品ブラストがある。ブラスト処理に用いる研削材にはショット、グリット鋼砕およびスピネル系研削材などがあるが、研削材粒子の粒径が大きいと表面粗さは大きくなり、塗膜厚が不均一になって防食性が低下することから、表面粗さの最大高さ R_z は 60～65 μm 程度、表面粗さの 10 点平均値 R_{zjis} は 45～50 μm の範囲が望ましく、最大でも 80 μm 以下、最小 30 μm 以上とするのが一般的である[吉田, 1982]。なお、表面粗さの測定は、JIS B0651-2001 で規定されている。

ブラスト処理後は処理面の清掃を行い、付着した異物や鋼材に食い込んだ研削材などを完全に除去した後、速やかに塗装を行う。なお、塗装直前に塗装面に発錆が見られる場合には再度ブラスト処理を行うなどの検討が必要である。

素地調整面の仕上がり品質は塗膜の接着に大きな影響を及ぼす。塗膜は鋼材面との接着によって性能が発揮でき、素地調整面があまり平滑であると十分なアンカー効果が発揮されず塗膜の接着力が低下する。一方、素地調整面があまりにも凹凸していると、下塗り塗膜の膜厚が不均一になり凸部分では所定の膜厚が確保できなくなる。通常、素地調整面の仕上がり品質を確認する方法としては、素地調整見本との比較が行われているが、アンカーパターンの確認も塗膜の付着力を確保する点からは重要である。

8.2.6 塗装作業

(1) 塗料の品質確認

塗装の開始前に、適切な方法で使用する塗料の品質を確認する。

(2) 塗装方法

塗装方法、塗装工程は使用する塗料に適した方法で行う。

【解説】

- (1) 塗料は、使用期限内であっても製造後長期間経過すると変質する恐れがあるので、開缶時には皮張り、色別れ、固化などの変状のないことを確認する必要がある。塗料は多液形塗料が多く使われるが、使用前に塗料の品質確認・混合割合、混合後の可使時間や熟成時間、さらに希釈率をメーカーの仕様書で確認してから作業を実施する。塗装業者は、必要と思われる場合は塗料メーカーの立ち会いによる技術指導を受けることも必要である。
- (2) 塗料の塗布方法、一層当たりの塗布量、塗重ね間隔など塗装方法や塗装工程は、使用する塗料に適合した方法で行う。塗料は塗膜になって初めて製品となり性能が発揮される。したがって塗膜を形成する塗装作業は、使用する塗料の性能を最大限に発揮させるようにする。

8.2.7 塗装部材の保管、輸送、架設

(1) 塗装部材の保管

塗装部材を保管する場合は、塗装に悪影響を与えないようにする。

(2) 塗装部材の積み込み・荷下ろし、輸送

塗装部材の輸送は、塗膜が完全に乾燥硬化した後に行い、積み込み・荷下ろしおよび輸送中は塗膜が損傷を受けないようにする。

(3) 塗装部材の架設

塗装部材は、架設中損傷を受けないように注意する。

【解説】

- (1) 塗装後の部材を保管する場合は、塗膜が損傷したり劣化したりしないように注意する。一般的には塗装部材は乾燥したコンクリートあるいはアスファルトの舗装上に、塗膜が損傷しないように適当な架台を設けその上に置くが、土面状に置かなければならない場合には、路面からの蒸発水の影響や雨水等の跳ね返りを受けないように土面から適切な高さに置き、通気性を確保する。
- (2) 塗装部材を輸送する場合、塗膜が完全に硬化乾燥した後に行わなければならない。塗装部材を吊る場合は専用の吊金具を用いるが、専用の吊り金具を用いない場合は、塗膜に傷を付けないように適切な材質の吊具を用いる。塗装部材は、輸送中の振動や衝撃を受けないように、また、塗装部材同士や緩衝材などと擦れ合わないよう安定した状態で積み込まなければならない。

海上輸送や海浜部を輸送する場合には、海水や飛



写真-解 8.2.2 塗装桁の輸送

来塩分が付着しないようにシートなどで養生する。海水や塩分が付着した恐れがある場合には、荷下ろし後に塗膜を傷つけないように水洗する。(写真-解 8.2.2 参照)

- (3) 架設後の塗装部材は、架設機械等の燃料油や潤滑油等が付着しないようにする。また、コンクリート床版の施工などで、コンクリートを打設する際にはセメント分が付着しないようにする。塗装部材にこれらが付着した場合は、速やかに洗浄する。

8.2.8 塗膜厚の検査

塗膜厚は、使用した塗料に適した塗膜厚で管理する。

【解 説】

塗膜厚は、塗装の防食効果と耐久性に大きく影響するので、使用する塗装仕様に適合した塗膜厚であることを確認する必要がある。塗膜厚が不足している場合は塗料を増塗りするが、逆に塗膜厚が厚すぎると乾燥・硬化不良や塗膜欠陥の原因となる。塗膜厚の測定は、通常ウェット状態と乾燥状態で行われる。ウェット状態での塗膜厚の測定値と乾燥後の塗膜厚の測定値との関係は塗料の乾燥・硬化機構や希釈率などによって、また、素地調整面の粗さなどによって異なり、ウェット塗膜厚から乾燥塗膜厚を推定することは困難である。通常、ウェット塗膜厚の測定にはウェット塗膜厚測定器が用いられるが、ウェット塗膜厚の測定値は乾燥塗膜厚に対する目安とされる。

乾燥塗膜厚の測定方法には、マイクロメーター、永久磁石式、光学式、渦電流式、静電容量式などがあるが、一般には電磁式の二点調整形電磁微厚計が用いられる。二点調整形電磁微厚計は、測定方法や条件によって測定値が異なる場合もあるので、測定方法を熟知した上で使用する。なお、二点調整形電磁微厚計は、年一回程度の測定精度検定を行う必要がある。(写真-解8.2.3参照)

乾燥塗膜厚は、鋼材素地面の粗さや塗装作業による塗膜厚の不均一性から、塗膜厚の測定精度も測定の方法や測定箇所の形状などによってばらつく。したがって、塗膜厚の測定値は一点ごとに異なっており、塗膜厚の評価は多くの測定値を統計処理して行うことが必要となる。

測定および測定点数は、塗装系、塗装仕様、塗装方法、部材・部位ごとに、それらが代表されるような測定単位面積と測定点数を設定する。各点の測定は塗装工程ごとに5回行い、その平均値をその点の測定値とするのが一般的である。

ウェット塗膜厚と乾燥塗膜厚との関係を示す管理基準値は、使用した塗料メーカーの保証する塗膜厚範囲とする。なお、不合格になった場合は、不合格になった塗膜層を管理基準値の範囲内で増塗りする。

塗料の空缶検査によって塗付量を管理する使用量管理が行われることがある。空缶検査の目的は設計・積算上必要とした塗料数量を、塗装業者が実際に使用したかどうかだけの確認であり、塗膜の厚みや塗膜の品質を保証するものではない。一般的に、空缶検査は工事終了時や一定範囲の施工終了後に行われるが、その間における空缶保管場所の確保や管理上の問題もありデメリットの方



写真-解 8.2.3 塗膜厚測定

が多い。

8.2.9 溶融亜鉛めっき面，耐候性鋼面および金属溶射面への塗装

溶融亜鉛めっき面，耐候性鋼面および金属溶射面への塗装は，設計で考慮された防食設計に適した方法で行う。

【解説】

景観調和と防食耐久性向上のために溶融亜鉛めっき面，耐候性鋼面および金属溶射面に塗装することがある。しかし，溶融亜鉛めっき，耐候性鋼面および金属溶射は塗装を行わない状態で長期間の防食耐久性を目的に使用されるものであり，防食設計上は過剰設計ともいえる。

溶融亜鉛めっき面や金属溶射面は当初金属光沢を持っているが，時間の経過とともに金属光沢が消失したり，白さびが生じたりすることがある。そのため，景観上塗装することがあるが，景観重視の環境であれば，当初から塗装を採用したほうがほとんどの場合経済的になる。なお，耐候性鋼面に塗装する場合は補修がほとんどであり，新設当初から塗装を行う場合は桁端部などの部分塗装に限られている。

溶融亜鉛めっき面に塗装する場合は，溶融亜鉛めっきが残存しており，塗装の下塗り程度の防食性能を保持していることが条件となる。亜鉛が消耗して鋼材が腐食し始めた場合にはめっきで補修する。溶融亜鉛めっき面へ塗装する塗料は，溶融亜鉛めっきと密着性のよい塗料を選択する。溶融亜鉛めっき面は化学的に活性であり，しかも両性金属としての性質をもつため酸やアルカリ雰囲気の影響を受けやすいことから，耐薬品性があり透水性の小さな塗料を用いる。また，塗装前の素地調整面の汚れ，白さび，フラックスや油脂類などの異物や溶融亜鉛めっき面の凹凸などはスリーブプラスト処理によって取り除いておく。塗装系としては，エポキシ樹脂塗料にふっ素樹脂塗料を塗重ねるのが一般的である。

耐候性鋼面への部分塗装は，無塗装部分との色調を考慮すると違和感がなくなる。また，無塗装部分と塗装部分と境界部分に防食上の弱点となることから，部分塗装の範囲については部材のミクロ的な腐食環境を考慮する必要がある。なお，新設時の耐候性鋼面への塗装系は変性エポキシ樹脂塗料とふっ素樹脂塗料の組み合わせが良く，補修として耐候性鋼面に塗装を行う場合にはプラスト処理を行い，鋼材素地面に有機ジンクリッチペイント，変性エポキシ樹脂塗料，ふっ素樹脂塗料の組み合わせが行われている。補修塗装として，電動工具によって行われた素地調整面およびエポキシ樹脂塗料の下塗りは，長期的な防食性は望めない。

金属溶射面は非常に多孔質であるため，塗膜にピンホールが生じやすいので封孔処理を確実に行うことが重要となる。塗装系としてはエポキシ樹脂塗料にふっ素樹脂塗料を塗重ねるのが一般的である。

8.2.10 塗装記録

塗装記録は適切に保管する。

【解説】

塗装記録は，塗膜調査や塗替えを行う際に重要な情報となる。塗装系，塗装仕様，塗料名，塗料メーカー，塗装時期が明確にされていることが必要である。また，塗料名，素地調整方法，塗布方法，塗布量，塗装年月および塗装業者名などは対象構造物に直接記載しておくこともある。

8.3 耐候性鋼

8.3.1 使用材料

- (1) 構造用鋼材は、設計で考慮された性能を満足するものを選定する。
- (2) 耐候性鋼を使用する鋼構造物に使用する高力ボルトは、使用する耐候性鋼の防食性能に適したものを選定する。
- (3) 耐候性鋼を使用する鋼構造物に用いる溶接材料は、使用する耐候性鋼に適合したものを選定する。

【解説】

- (1) JIS G 3114 溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材には、SMA400W、SMA490W、SMA570W があり、使用条件により W タイプと P タイプに区分されている。このうち、W タイプは無塗装で用いられ、P タイプは主として塗装を施して使用する。
- (2) 無塗装耐候性橋に用いる高力ボルトは、耐候性鋼高力ボルトを用いる。なお、耐候性鋼高力ボルトの化学成分はJISには規格化されていない。耐候性鋼高力ボルトは、JIS B 1186 (摩擦接合用高力六角ボルト・六角ナット・平座金のセット) のうちF10TまたはF8T、あるいは日本道路協会規格 (トルシア形高力ボルト・六角ナット・平座金のセット) のうちS10Tに合格するもので、かつ耐候性を付与するために主としてCu、Cr、Niなどを添加したものを使用する。耐候性を付与された高力ボルト頭部には、それぞれF10TW、F8TW、S10TWと表示されている。
- (3) 耐候性鋼に用いる溶接材料は、使用する耐候性鋼の規格に適合したものを使用する。耐候性鋼に用いる被覆アーク溶接棒はJIS Z 3214、炭酸ガスアーク溶接ソリッドワイヤはJIS Z 3315、炭酸ガスアーク溶接フラックス入りワイヤ材料はJIS Z 3320、サブマージアーク溶接ワイヤはJIS Z 3351、サブマージアーク溶接フラックスはJIS Z 3352が規格化されている。

8.3.2 黒皮処理

耐候性鋼を無塗装で使用する場合は、黒皮を除去することを標準とする。

【解説】

黒皮が付いた状態で暴露されていた耐候性鋼は、黒皮の付着が均一でないため黒皮部分と発錆部分が生じ、黒皮がはく離後も色むらが残ることがある。したがって、耐候性鋼を無塗装で使用する場合は黒皮を除去することを標準とする。なお、原板プラストによって黒皮を除去した場合は、工場製作時に付着したじん埃、油脂およびマーキング等を除去する。

8.3.3 耐候性鋼部材の仮置き、輸送

- (1) 耐候性鋼部材の仮置きや輸送に当たっては、飛来塩分が付着しないように配慮する。
- (2) 耐候性鋼部材の仮置き中は、雨水等の滞水や泥水の跳ね返りなどがないように配慮する。
- (3) 耐候性鋼部材の仮置き中は、部材の同一個所に、長期間にわたって仮置き台木が接触しないように配慮する。

【解説】

- (1) 耐候性鋼に塩分が付着すると、さび安定化に好ましくないとともに、さびの色むらができることがある。船

で輸送する際は、甲板上での輸送はできるだけ避けるべきであるが、大型部材などでやむを得ず甲板上に置く場合には、潮風や海水が耐候性鋼部材に直接当たらないように注意するとともに、輸送完了後、水洗いなどの適切な処置をする。

- (2) 部材を仮置きする際は、雨水等の滞水や泥水の跳ね返り等の影響を受けないように、部材の仮置き姿勢や高さ等に配慮する。また、仮置きの際にシートで部材を覆う際は、地面から蒸発する水分などによって、部材が長期間湿潤状態にならないよう通気性に配慮する。
- (3) 耐候性鋼に長期間異物が接触していると、接触部分のさび生成が遅れ、局部的に色むらが見られるようになる。したがって、部材を仮置きする際は、仮置き架台が長期間接触した状態にならないよう、適宜、仮置き位置を変更する。

8.3.4 コンクリート床版の施工

- (1) コンクリート床版を施工する場合は、鋼桁架設後速やかにコンクリートを打設する。
- (2) コンクリートを打設する際は、耐候性鋼部材にコンクリートやモルタルが付着しないようにする。

【解 説】

- (1) 耐候性鋼の桁を据え付け後、長期間放置しておくこと、さび汁が発生して下部構造や交差する道路や鉄道など汚すことがあるので、桁据え付け後はできるだけ速やかに床版を設置することが望ましい。
- (2) 耐候性鋼にコンクリートやモルタルが付着すると、それらを除去しても付着しなかった部分とに色むらが生じることがある。また、付着したモルタルやコンクリートを油脂類で除去すると、その部分のさび安定化が遅れ、色むらが生じるので、モルタルやコンクリートが付着したら、水洗いなどによって除去する。

8.3.5 記録

耐候性鋼の施工記録は適切に保管する。

【解 説】

耐候性鋼の施工記録は、さび安定化の評価や補修を行う際に重要な情報となる。しかし、これらの情報を耐候性鋼に直接記録を記載することは、さびの安定化を阻害することになるので避ける。

8.4 溶融亜鉛めっき

鋼構造物面へ溶融亜鉛めっきは、設計で考慮された防食設計に適した材料および施工方法で行う。

8.4.1 使用材料

溶融亜鉛めっきに使用する材料は、設計で考慮した防食性能を満足する材料を使用する。

8.4.2 亜鉛めっきの付着量

亜鉛めっきの付着量は、設計で考慮した防食性能を満足する付着量を確保する。

【解 説】

一般に、亜鉛浴に使用する亜鉛は、JIS H 2107 に規定する蒸留亜鉛地金 1 種またはこれと同等以上の品質の亜鉛地金を用い、亜鉛浴の純度は作業中 97.5%以上、アルミニウム含有量は 0.1%以下のものを使用している。部材への亜鉛めっき付着量は部材厚や形状によって異なるが、設計で要求された防食性能を確保するための標準

付着量としては 600g/m^2 以上確保するのが一般的である。しかし、薄板などの部材では、性能を損なわずに標準付着量を確保することは施工上困難であることから、一般的には 350g/m^2 以上の付着量としているが、亜鉛めっきの付着量が少ない分、防食性能が低下することに留意する必要がある。

8.4.3 加工，孔開け

- (1) 部材にマーキングする際は、めっきに悪影響を与えない材料を使用する。
- (2) 部材の角部は、めっきが損傷しないように処理する。

【解説】

- (1) 部材のマーキングに使用する材料は、油性系の塗料では亜鉛めっきの付着性能が低下するため水性塗料を使用する。
- (2) めっき後に衝撃が加わった場合、鋭利な部材角部ではめっき皮膜が損傷したり、はく離したりすることがあるため、通常は 1mm 程度の面取りを行っている。ボルト孔についても、孔明け後の孔周辺のカエリやバリは除去する。
- (3) 亜鉛めっき後、ボルト孔径は亜鉛の付着によって小さくなる。めっき後に仮組立や架設を行う際にはめっき処理したドリフトピンを用いるが、ドリフトピンの径も大きくなっているため、通常は直径が 0.55mm 程度小さいものを使用している。

8.4.4 溶接

溶融亜鉛めっきを施す部材の溶接は、めっきによる変形を防止するとともに、めっき時の割れを防ぐために溶接欠陥がないように留意する。

【解説】

溶融亜鉛めっきを施す部材の溶接は、めっきによる変形を防止するために溶接入熱量を低減するとともに、過大な脚長をとらないようにし、溶接残留応力の軽減および内部応力の軽減を図ることが必要となる。溶接ひずみなどの変形を、めっきを施す前に矯正してもめっき時の加熱によって変形が再発するケースが多く、めっき後の矯正も困難なことから溶接ひずみが生じないように注意する。また、水平補剛材の端部や垂直補剛材のスカラップ部のまわし溶接部にアンダーカット、オーバーラップ、ピット等の溶接欠陥があるとめっき施工による割れが発生しやすいので注意が必要である。なお、溶接時に発生するスラグおよびスパッタは、溶接後完全に除去しておく。

8.4.5 溶融亜鉛めっきの施工

(1) めっき用吊金具

めっき用吊金具は、部材に所定のめっき量が付着するような位置に取付け、めっき施工中に転倒などしないようにする。

(2) 変形防止用拘束材

めっき施工中に変形する恐れがある部分には変形を防止する拘束材を設ける。

(3) 平面度の管理

めっき後の部材は所定の平面度を確保する。

(4) めっき後の矯正

めっき施工後の矯正は、めっき皮膜を損傷しないようにする。

(5) めっきの精度

めっき後は、所定の部材精度があることを確認する。

【解 説】

- (1) めっき作業用吊り金具は、「鋼構造物架設設計施工指針」[平成 14 年 3 月, 土木学会]に準拠して取付ける。めっき作業用吊り金具の取付け位置は、部材端から部材長の $1/5$ 前後とし、一般には架設用吊り金具とは別の位置に取付ける。通常、長尺部材のめっきは 2 点吊りで行うので、両端部から部材長の $1/5$ 前後のウェブの中心線上に吊り金具を設け、ウェブが鉛直になるようにする。箱桁を分割めっきする場合は、ウェブがない側はダイヤフラムや横リブ位置などに取付け、桁の内側にはめっき時の変形防止材を設置する。
- (2) 主桁の現場継手側のウェブ端部など補剛されていない部分は、めっき施工によって変形することが多い。このような部分にあらかじめ変形を防止する拘束材を設けることによって、変形量を低減させることが必要である。一般には、変形防止用拘束材には剛性のある山形鋼が使用されている。変形防止用拘束材の取付けには普通ボルトを用い、桁本体と拘束材の間には各端部に垂鉛流出用の半円孔を設けたパイプスペーサーを拘束材に溶接し取付ける。一般的に行われている変形防止用拘束材の取付けは次のようである。
 - a) 桁のウェブ高 2m 以上の場合に、現場継手側のウェブ端部には原目を防止するための変形防止用拘束材を取付ける。
 - b) 変形防止用拘束材は、継手部のボルト孔を 2～4 個飛ばした間隔 (300mm～500mm 程度) とし、上下の縁端とウェブ中央はボルト締めを行う。
 - c) 箱桁はウェブ高に関係なく、現場継手側のウェブ端部に変形防止用拘束材を取付ける。
 - d) 吊り金具の取付け部の背面にダイヤフラムがない場合はリブやストラットで補強を行う。
 - e) 分割箱桁は、めっき時の変形防止用として縦割り部にストラットやブレーシング等を設ける。なお、これらの拘束材は箱形状に組立てを完了するまで残しておく。
 - f) 2 分割された箱桁の部材開口部には変形防止のための拘束材を設ける。
 - g) 変形防止用拘束材は、部材の力学的挙動や防食性能さらには性能上や維持管理上支障とならないような場合には取り除かないほうが、防食性能は低下しない。
- (3) 一般に、補剛材溶接後のひずみ取りは、ガスバーナーによる加熱矯正法やプレスによる矯正が行われている。ひずみ取り作業では、めっき後の変形をできるだけ小さくするためウェブのはらみに関しては、ウェブ高さの $1/500 \sim 1/600$ の平面度を精度管理の目標として行っている。
- (4) めっき施工後の矯正は、プレスによる冷間加工によることが標準であるが、プレス矯正する場合は毛布や当て板を用い、めっき皮膜を損傷しないように配慮する。

- (5) 精度の確認のため、必要に応じてめっきの施工前後に仮組立を行うことがある。仮組立を行う場合は、溶融亜鉛めっき皮膜を損傷したり、塗料、油脂類が付着したりしないように注意して行う。

8.4.6 摩擦接合面の処理

溶融亜鉛めっき部材の摩擦接合面は、設計で考慮されたすべり係数が確保されていることを確認する。

【解説】

溶融亜鉛めっき施した面は滑らかであり、設計で考慮したすべり係数を確保することは難しいことからブラストによって所定の表面粗さを確保する。参考に、表面粗さとすべり係数との関係を図解 8.4.1 に示す。

ブラストの処理範囲は、摩擦接合面だけ行うこととする。連結板や接合部材の製作精度によってはブラスト部が露出し防食性能が低下することがあるので、接合面以外へのブラストは行ってはならない。なお、表面粗さの確認は、ブラスト処理をして必要な表面粗さに施工された試験板を作成し、これと比較することによって確認する。

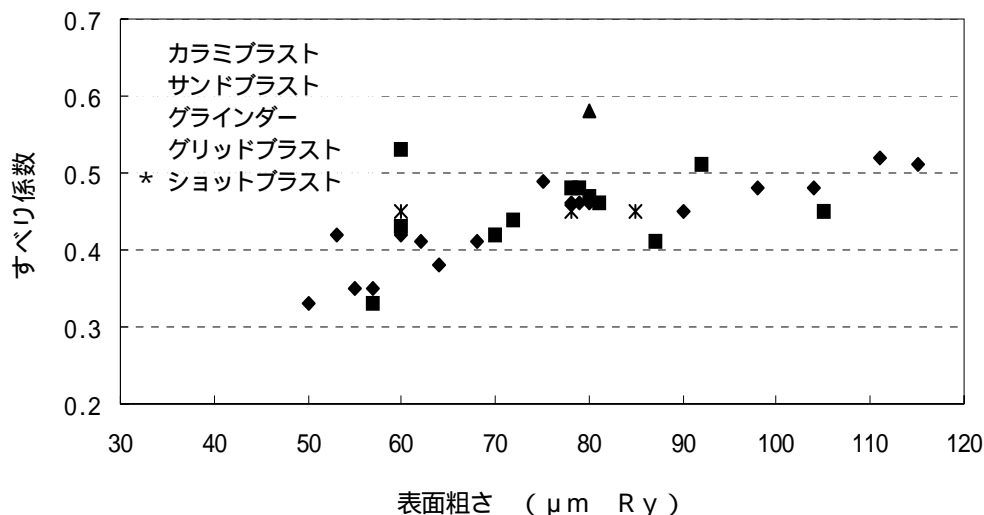


図-解 8.4.1 表面粗さとすべり係数との関係

8.4.7 溶融亜鉛めっき部材の保管、輸送

(1) 溶融亜鉛めっき部材の保管

溶融亜鉛めっき部材を保管する場合は、めっき皮膜に悪影響を与えないようにする。

(2) 溶融亜鉛めっき部材の積み込み・荷下ろし、輸送

溶融亜鉛めっき部材の積み込み・荷下ろしおよび輸送中は、めっき皮膜が損傷を受けないようにす

【解説】

- (1) 溶融亜鉛めっき部材を保管する際は、めっき皮膜の防食性能に悪影響を与えることのないよう注意する。溶融亜鉛めっき部材は屋内で保管することを標準とするが、屋内で保管できない場合は、亜鉛を腐食させる物質や潮解性物質または吸湿性物質を遮断できるように配慮する。また、溶融亜鉛めっき部材は、適切な高さの架台に保管し、めっき皮膜が架台に直接接しないように保護する。
- (2) 溶融亜鉛めっき部材を輸送する際は、めっき皮膜に損傷を与えないよう取扱いに注意する。溶融亜鉛めっき

部材とめっきを施していない部材とを混載する場合は、それぞれの部材が損傷しないように十分に注意する。

8.4.8 溶融亜鉛めっき部材の架設

- (1) 溶融亜鉛めっき部材は、架設中損傷を受けないように適当な防護を行う。
- (2) 高力ボルトの締め付けはナット回転法によって行う。

【解説】

(1) 部材の形状や寸法によっては、めっき施工中に変形することがある。変形した部材を架設する際は、取付け部材の組み合わせによるブロック化で安定性を保つ必要がある。例えば、I桁に対傾構や横構を取付けてブロック化にすることによって、架設作業の安定性確保だけでなく連結部の取り合いの確認にもなる。架設機械や器具などでめっき部材と接触する可能性のある個所には、フェルトやゴム等で保護し、めっき皮膜に損傷を与えないように保護する。また、ドリフトピンや仮締めボルトはさびの発生していないものを使用する。通常の使用径より小さめのサイズのものを用いると、ドリフトピンの打ち込みの際にはボルト孔の損傷を極力少なくすることができる。

通常、吊り足場用金具や型枠支保工等の吊り金具は、めっきを施工する前に取付けておくが、床版等に支障がなければ架設後も取り除かないほうが防食性能は低下しない。取り除く場合には、ガス切断またはガウジング等で除去する。なお、その場合は、火花の飛散によってめっき皮膜を損傷しないように防火シートなどでめっき部材の表面を保護する必要がある。チェーン、クランプ、パイプ等とめっき部材とが接触する面は、布ゴムや合板パネル等で保護する。また、コンクリートの打設時には、コンクリートやモルタルがめっき部材に付着しないように型わくの継ぎ目をシールし、コンクリートやモルタルが付着した場合は、すぐに水洗いする必要がある。

(2) 高力ボルトの締め付けはナット回転法によって行い、ボルト耐力付近の軸力を導入することにより、クリーブによるボルトの軸力の低下を補う。

8.4.9 めっきの検査

めっきの外観に、防食性能に影響を及ぼす有害な欠陥がないことを確認し、欠陥があった場合はめっきの防食性能を低下させないように処理する。また、所定のめっき量が付着していることを確認する。

【解説】

溶融めっきの品質は、JIS H 8641「溶融亜鉛めっき」に準拠しており、めっき面は滑らかで、不めっき部分など防食性能およびその耐久性能に有害な欠陥があってはならない。また、めっき皮膜は素地と良く密着している必要がある。めっきの付着量および密着性試験方法は、JIS H 0401「溶融亜鉛めっき試験方法」に規定されている。

溶融亜鉛めっき面の外観検査では、防食耐食性能に影響を及ぼす不めっき、きず、かすびきあるいは連結面のたれ、シーム、ざらつき等を検査する。めっき皮膜に欠陥があった場合は、たれざらつき、かすびきについてはヤスリまたはサンダーにより平滑に補修する。また、不めっきやきず等は、有機ジンクリッチペイントを用いて補修を行うことを標準とする。

溶融亜鉛めっきの付着量は、JIS H 8641「溶融亜鉛めっき」の規定されている。なお、必要によってはめっきの膜厚を測定することもある。膜厚測定は、通常、JIS H 0401に定められている膜厚試験によって行われる。

8.4.10 記録

溶融亜鉛めっきの施工記録は適切に保管する。

【解説】

溶融亜鉛めっきの記録は、めっき付着量の確認や補修を行う際に重要な情報となる。めっき使用、めっきメーカー、めっき時期、高力ボルト、支承などについても記録しておく必要がある。なお、めっきの付着量や施工時期などは対象構造物に直接記載しておくこともある。

8.5 金属溶射

8.5.1 材料

金属溶射に用いる材料は、設計で考慮された要求性能を満足する材料を使用する。

8.5.2 加工，孔明け

- (1) 部材にマーキングする際は、溶射に悪影響を与えない材料を使用する。
- (2) 部材の角部は、溶射が損傷しないように処理する。

8.5.3 溶接

部材の溶接は、溶射に悪影響を与えないように施工する。

8.5.4 保管，輸送，架設

部材を保管，輸送および架設する際は、溶射皮膜を損傷しないように留意する。

8.5.5 摩擦接合面の処理

溶射部材の摩擦接合面は、設計で考慮されたすべり係数が確保されていることを確認する。

【解説】

ここでいう金属溶射は、亜鉛やアルミニウムを単独にあるいは合金として、JIS H 8300 の規定により行う溶射をいう。

金属溶射の施工に使用する材料は、溶射皮膜用として製造された線材、封孔処理剤を用いる。通常、亜鉛は JIS H 2107 に規定する亜鉛 99.99% 以上の特種亜鉛地金が用いられている。アルミニウムは、JIS H 2102 に規定するアルミニウム 99.50% 以上のアルミニウム地金 2 種が用いられている。また、亜鉛・アルミニウム合金は、溶射用として製造された JIS H 2107 に規定する亜鉛純度 99.97% 以上の普通亜鉛地金および JIS H 2102 に規定するアルミニウム 99.70% 以上のアルミニウム地金 1 種が用いられている。溶射皮膜の封孔処理に用いる処理剤には、無機あるいは有機系の塗料が用いられるが、溶射皮膜の開口気孔中に良く浸透するとともに、溶射皮膜および素地と有害な反応をしないものを使用する必要がある。なお、上塗りに使用する塗料の品質規格および塗装作業は、「8.2 塗装」による。

部材のマーキングに使用するペイントは水性が望ましい。油性系は溶射皮膜の付着不良の原因となるので注意が必要である。

鋼板の切断は、孔明け後の孔周辺のまくれ（カエリ・バリ）は、孔周辺における溶射もれ発生防止のため、グラインダー等で確実に除去するようにする。

溶接接合部のピット、オーバーラップ、アンダーカット、溶接のスラグやスパッタ等は、溶射皮膜の厚さが不均一になったりするので溶接後、工具などで除去しておく。また、溶接線に不連続があったり、部材端部・密着部などに溶接しない部材間にすき間があったりすると、溶射後さびの発生が起こる可能性があるため、溶接線は

完全に連続させ、部材間のすき間は溶接で肉盛りしてグラインダーで仕上げを行っておく。

溶射部材の保管・輸送および架設に当たっては、溶射皮膜を損傷させないように保護する。

摩擦接合面の処理は、設計で考慮したすべり係数が得られるように、適切な処理を施す。また、支圧接合においてボルトに締め付け軸力を与える場合や、引張接合において接触面の摩擦力によってせん断力を伝達するような場合の接合面についても、摩擦接合同様な処理を行う。

8.6 その他の防食方法

塗装、耐候性鋼、溶融亜鉛めっきおよび金属溶射以外の防食方法を使用する際は、設計で考慮された防食性能を満足する材料と施工方法を選定し、品質を確認する。

【解説】

塗装、耐候性鋼、溶融亜鉛めっきおよび金属溶射以外の防食方法としては、電気防食とライニングがある。

電気防食は、腐食環境下に設置した電極から鋼材に直流電流を通電することにより、鋼材の電位を腐食しないレベル(腐食電位よりも低い(卑な)電位：防食電位)まで変化させて腐食を事実上無視できる程度まで抑制する防食方法であり、陰極防食(カソード防食)といわれている。電気防食が適用できる環境は、pH4～10の中性域にある海水、土壌およびコンクリートなどの電解質中に存在する金属が対象となり、鋼矢板、鋼管矢板、H杭、鋼板などで構成された岸壁、護岸、栈橋および橋脚等に適用されている。電気防食は、通電の方法によって2種類に分類される。一つは流電陽極方式と呼ばれ、防食される金属よりも低い電位をもつ腐食(溶解)しやすい金属を取り付ける方法であり、犠牲陽極方式とも呼ばれる。もう一つは外部電源方式と呼ばれ、難治性の電極を設置し外部電源を利用して直流電流を通電する方法である。これらのうちでは、電源が不要で、維持管理面や安全面から流電陽極方式が多用されている。

ライニングは、樹脂、ゴム、金属や無機質(モルタル・ガラス・ホーロー等)等によって鋼材を被覆するもので、慣習的に塗装とは区別されている。土木鋼構造物のライニングには、有機ライニング、ペトロタムライニング、モルタルライニングおよび金属ライニングが使用されている。有機ライニングは、熱可塑性・熱硬化性の有機樹脂やゴムで金属をライニングする方法で、膜厚が1.5～10mmと塗装よりも厚く、防食性、耐衝撃性および耐摩耗性に優れているが、塗装に比べて施工性、補修および施工コストの面で劣る。ペトロタムライニングは、有機ライニングの一種であるが、被覆したライニングを波浪や衝突などから守るために保護カバーを設けることから、有機ライニングとは区別することが多い。モルタルライニングは、セメントモルタルやコンクリートによって金属を被覆する方法で、施工後型わくを撤去する方法と型わくを防護カバーとしてそのまま残す方法がある。金属ライニングは、耐食性に優れた金属を鋼材の表面に取付けて防食する方法であり、腐食や摩耗しるに相当する厚さの鋼板を巻く鋼板巻きと、耐食性に優れた金属による耐食性金属ライニングとがある。金属ライニングは、他の防食方法と比べて機械的強度が大きく、耐衝撃性、耐摩耗性に優れているが、耐食性金属の場合、ライニング金属と鋼材との境界部での異種金属接触腐食によって鋼材の腐食が促進されるので、塗装や電気防食などの対策が必要となる。耐食性金属としては、モネルメタル、キュプロニッケル、ステンレス鋼およびチタン等がある。

溶融アルミニウムめっき(JIS H 8642)は、Al層、Fe-Al合金層、炭素鋼母材の3層からなり、Al層の表面には約10nmの Al_2O_3 の酸化皮膜が形成され、溶融亜鉛めっきより優れた耐食性を示すため、特に耐食性を期待される厳しい腐食環境に使用されている。主として工場施設に使用されているが、フェンスやガードレールなど道路施設や栈橋などにも使用されている。今後、溶融亜鉛めっきに代わる防食方法として腐食環境の厳しい海洋環境などへの適用が考えられる。

第8章の参考文献

- 建設省土木研究所, (社)鋼材倶楽部, (社)日本橋梁建設協会「耐候性鋼材の橋梁への適用に関する研究委員会」(2003): 耐候性鋼材の橋梁への適用に関する共同研究報告書 (XX) - 無塗装耐候性橋梁の設計・施工要領
- 日本道路公団試験研究所, (社)鋼材倶楽部, (社)日本橋梁建設協会 (1999): 耐候性鋼材裸使用橋梁への提言, 無塗装耐候性橋梁現地調査報告書添付資料
- 加納勇, 渡辺祐一 (2002): 橋梁用新耐候性鋼, 土木学会誌, Vol.87
- 社団法人日本鋼構造協会 (1996): 溶融亜鉛めっき橋の設計・施工指針
- 社団法人日本鋼構造協会 (2002): 鋼橋の長寿命化のための方策 (塗装からの取り組み), JSSCテクニカルレポート, No.57
- 日本道路公団試験研究所保全技術研究室 (1994): 鋼橋の塗替え塗装 (マニュアル) — 維持修繕要領 (改訂) 等の解説 —
- 吉田真一 (1982): 鋼橋塗装施工上のポイント, (社)日本鋼橋塗装専門会
- 東日本高速道路 (株) (2005): 設計要領第二集橋梁建設編
- 日本道路公団大阪建設局 (1988): 近畿自動車道天理吹田線 溶融亜鉛めっき橋梁工事報告書

第9章 架 設

9.1 架設計画

9.1.1 予備調査

予備調査は、架設の計画、設計および施工の検討に必要な資料を得ることを目的とする。

【解 説】

(1) 予備調査の目的

構造物の架設を行うにあたっては、事前に必要な資料を収集しなければならない。予備調査は、本体構造物の種類、架設場所、架設時期などによって調査する項目も異なるので、これらを勘案し、架設の計画、設計および施工を行う必要がある。

(2) 調査項目

調査は以下の項目について行うことを原則とする。

設計図、設計計算書等の検討

地形の調査

運搬路の調査

気象、水文、海象の調査

基礎地盤の調査

既設構造物の調査

環境等の調査

関係機関の許可等の調査

(3) 設計図、設計計算書等の検討

架設の計画を立案するに先立ち、本体構造物およびこれに関連する構造物の設計図、設計計算書等について検討する。設計の意図を正確に理解するには、必要に応じて設計者と協議することも有効である。

設計図、設計計算書等には、以下の各図書が含まれる。

契約図書（一般共通仕様書、特記仕様書、工事設計書、現場説明書、等）

材料計算書

組立符号図

組立順序図

発送部材重量表

ボルト表

製作発送工程表

製品検査記録

(4) 地形の調査

地形の状況に合った適切な架設方法、架設ヤード等を選定するため、架設地点付近の地形調査を行う。また、河川および海等を横断する本体構造物については、河床および海底の状況等に関する調査を必要に応じて行う。

(5) 運搬径路の調査

本体構造物、仮設構造物および架設機材の運搬径路については、輸送基点から架設地点に至るまで調査し、事

前に障害の有無およびその対策について検討する。

陸上運搬については、道路の建築限界、曲線半径、勾配、トンネルの断面形状、架空線の高さ、安全地帯の位置、路肩の状況、橋の耐荷力および交通規制等を調査する必要がある。海上運搬を行う場合には水路、航路等の水深、幅、航行時の交通量を調査するとともに次項「(6) 気象、水文、海象の調査」の項に基づいた調査を行う必要がある。

(6) 気象、水文、海象の調査

架設工事が気象、水文、海象の影響を受ける恐れがある場合は、必要に応じて架設地点における架設期間の気象、水文、海象等を調査する必要がある。

気象、水文、海象の調査では、以下の項目を考慮する。

気象：気温、風向、風速、台風時期、雨日数、霧、雷雨、なだれ等

水文：雨量、積雪量、流量、水位、流速、地下水位等

海象：潮位、潮流、波高、波浪周期、水深、漂砂等

(7) 基礎地盤の調査

ベント、タワー、アンカー、クレーン車等を使用する場合は、これらの基礎となる地盤、土質等を調査し、地耐力、引抜き耐力等を確認する必要がある。

(8) 既設構造物の調査

架設現場の近傍に他の構造物がある場合には、既設構造物に与える影響を調査する。既設構造物とは、地上に建設されている構造物ばかりではなく、架空線、地下埋設物、海底電線、パイプライン、遺跡等も含まれる。なお、神社、仏閣等の建物およびそれに付随する鳥居、灯籠、樹木等についても調査を行う。

(9) 環境等の調査

工事に伴う騒音、振動、地盤沈下、夜間照明、粉塵、塗料の飛散、地下水の低下、水質の汚濁、汚染、一般交通の通行規制等について、事前に調査する必要がある。工事により周辺地盤が沈下し、既設構造物に損傷を与える恐れがある場合や、既設構造物を一時他の場所に移設する場合には、既設構造物および周辺の状況をあらかじめ写真等で記録に残すとよい。

(10) その他の調査

予備調査においては「(2) 調査項目」に示す項目のほか、必要に応じて、架設工事に使用される電気関係の供給源、現場溶接施工上発生する問題、安全設備、架設時の耐風安定性および耐震性等の調査を行う。

9.1.2 架設計画

架設計画は、施工性、環境適合性、安全性に配慮し、完成後の構造物が設計で要求された性能を十分満足するような施工を行えるように作成しなければならない。また、架設の難易度や架設地点の状況等を考慮し、構造物の一部または全体を事前に組立て検査を行うか否かを決定するのがよい。

【解説】

架設計画書には、工事の内容や作業の手順・方法を定め、性能だけでなく、工事の作業安全管理や工程の管理についても、現地の状況をよく把握して、その工事に適合する内容を具体的に記載する。

(1) 架設計画の立案

設計で考慮された架設特性および予備調査を反映した施工計画を作成し、施工の安全性、品質、経済性、期間を満足する必要がある。架設の難易度や架設地点の状況等を考慮し、事前に構造物の一部または全体の組立検査（仮組み立て）を行うか否かの検討を行うのがよい。現地で発生するリスクと事前の組立に要する作業内容を比

較し合理的に判断すべきである。橋梁の場合には、図-解 9.1.1 に示すフローに基づいて検討するのがよい。

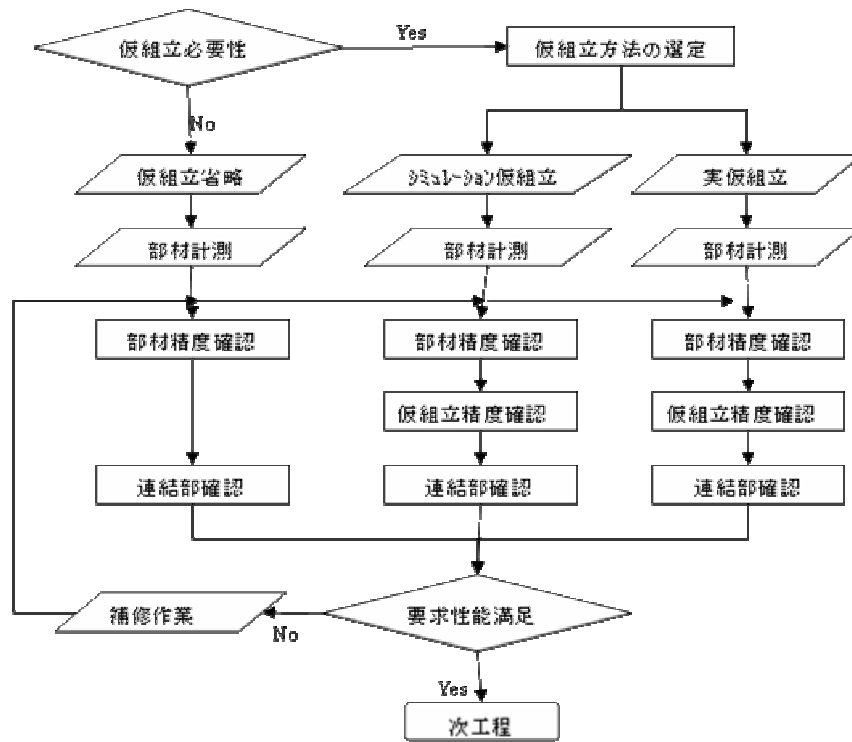


図-解 9.1.1 組み立て検査要否の判断フロー（鋼橋）

橋梁において、仮組立を実施する目的は、現場発送前に、溶接部材の出来形や組立に関わる性能を確認することによって、設計で要求される性能を満足しているか、さらに架設現場での工事の円滑な進捗を図るために前もって架設における施工性および安全性を確認することにある。特殊な架設工法を採用する場合や、鋼床版を後架設することで主桁と鋼床版の製作キャンバーが異なるような、仮組立時と架設時の形状が異なる工法を採用する場合は、仮組立での確認方法を事前に検討する必要がある。仮組立の方法は実仮組立とシミュレーション仮組立に区別される。また、仮組立を省略する場合は、単一部材の部材計測により、要求性能を満足していることを確認する。

(2) 架設工法の種類と工法選定

構造物の架設には種々の工法がある。それらの特徴を十分に把握したうえで、現地架設条件を考慮し、その構造物に最も適した工法を選定する。

構造物を架設する方法は、構造物の形式・規模、地形・環境により様々であり、それぞれ固有の特徴を有している。現在、一般に用いられている橋梁架設工法を整理したのが表-解 9.1.1 である。各工法の特徴を十分に理解したうえで、図-解 9.1.2 に示す架設工法選定フローチャートに基づき、工法を選定するのがよい。工法選定条件および選定フローを図-解 9.1.3 に、工法選定の主要因を表-解 9.1.2 に示す。表-解 9.1.3 は本フローチャートにおいて確認すべき主要因子、表-解 9.1.4 は架設地点の状況に応じた工法選定例、表-解 9.1.5 は鋼橋の形式に応じた工法選定例を示したものである。ここで示した工法選定要因の他にも考慮すべき条件もあるので十分注意する必要がある。

表-解 9.1.1 一般的な橋梁架設工法の種類

No.	工種（大分類）	工種（小分類）
1	トラッククレーン工法	トラッククレーンベント工法，トラッククレーン一括架設工法，トラッククレーン片持式工法
2	ケーブルクレーン工法	ケーブルクレーンベント工法，ケーブルエレクション直吊り工法，ケーブルクレーン片持式工法，ケーブルエレクション斜吊り工法
3	送出し工法	手延式送出し工法，台船送出し工法，重連式送出し工法，移動ベント送出し工法，架設桁送出し工法
4	トラベラクレーン工法	トラベラクレーンベント工法，トラベラクレーン片持式工法
5	架設桁工法	巻上機による架設桁工法，台車による架設桁工法
6	フローティングクレーン工法	フローティングクレーンベント工法，フローティングクレーン一括架設工法
7	台船工法	台船一括架設工法
8	大型搬送車工法	大型輸送車一括架設工法
9	その他の工法	横取り工法，バランス片持式工法，巻上機による一括吊上げ工法，回転工法

表-解 9.1.2 架設工法を定める要因

種別	要因内容	備考
一般的な要因	<ul style="list-style-type: none"> ・安全性，施工性 ・経済性 ・工期，施工時期 	
架設地点に関する要因	<ul style="list-style-type: none"> ・峡谷を横断する橋梁 ・山腹に沿っている橋梁 ・平坦地の橋梁 ・河川を横断する橋梁 ・道路の横断および道路に沿っている橋梁 ・鉄道上を横断する橋梁 ・海上部，河口部，湖水面の橋梁 ・市街地の橋梁 	橋体搬入，重機の据付 橋梁橋体搬入，重機の据付 河川協議 道路交通規制協議 線路閉鎖等の協議 水面利用協議 第三者防護，騒音・振動
周囲の状況に関する要因	<ul style="list-style-type: none"> ・桁下利用の条件 ・作業用地の条件 ・上空障害物の条件 ・搬入路の条件 	
架設する橋梁に関する要因	<ul style="list-style-type: none"> ・橋梁形式，規模 ・架設途中の安定性 	
架設機材に関する要因	<ul style="list-style-type: none"> ・必要架設機材の入手 	

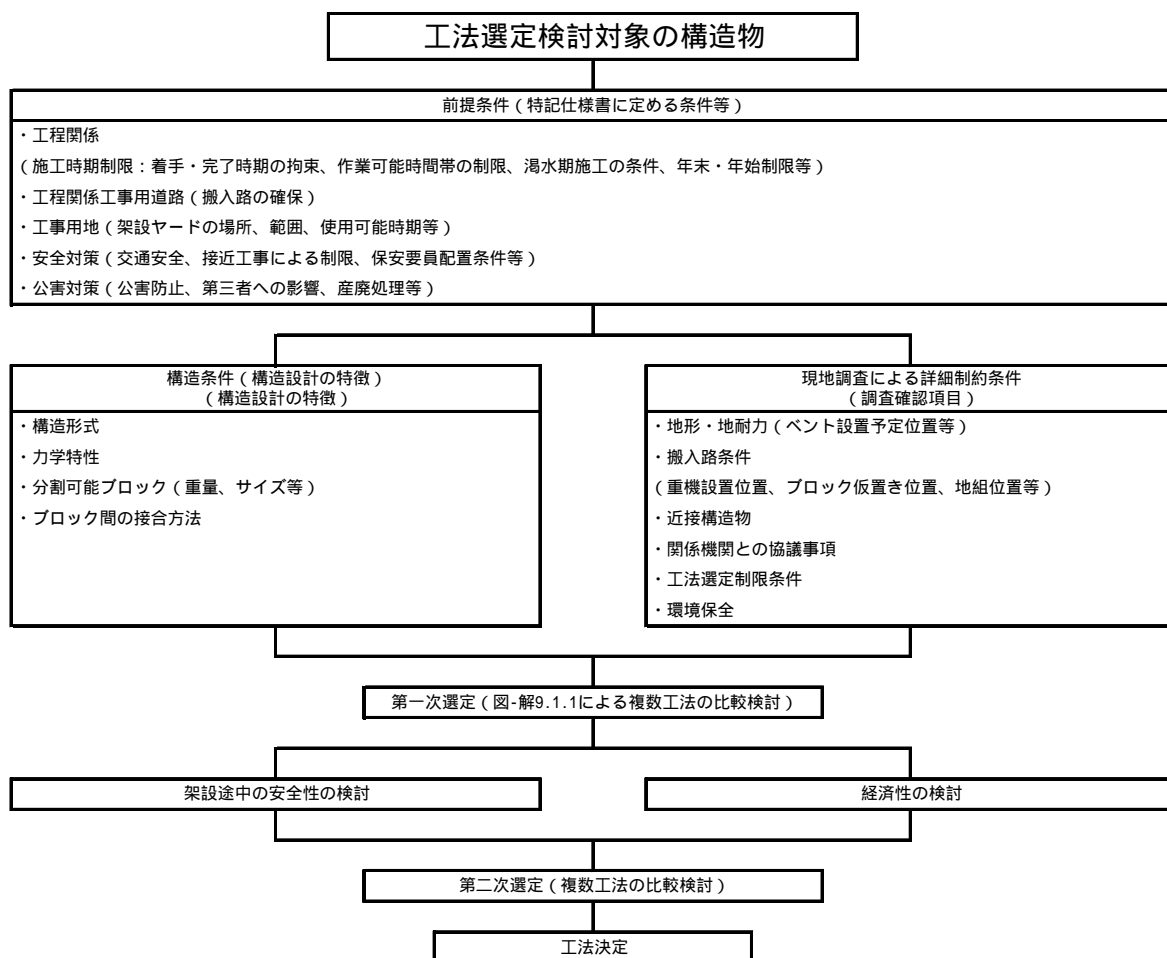




図-解9.1.3 工法選定条件および選定フロー

表-解9.1.3 フローチャートの主要確認事項


<p>1. 棧橋</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 棧橋規模の適否 ・ 設置場所の水深の適否 ・ 水面利用に関する関係機関の協議 ・ 杭基礎地盤の適否 	<p>9. 送出しヤード</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 直接に必要な作業スペース確保の可否 ・ 部材搬入路の有無 ・ 桁組立用クレーンの据付および作業の可否 ・ 縦断勾配の確認 ・ 隣接径間ヤード利用およびクレーンの据付, 作業の可否 ・ 既設桁上面利用時の既設桁強度の照査
<p>2. 搬入路</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 重車両通行の適否 ・ 幅員, 線形, 勾配の適否 (改良の可否) ・ 橋梁, トンネル, 架空線等, 支障物の有無 ・ 下部工用工事用道路利用の可否 ・ 改良 (新設) 費用の適正範囲 	<p>10. 桁形状</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 桁は直線 (原則として) ・ 縦断勾配の適否 (送出し時5%以内) ・ 桁高が一定 (原則として)
<p>3. 作業ヤード</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 架設区間へのクレーン接近および据付の可否 (既設桁上面使用含む) ・ クレーン組立ヤードの有無 ・ クレーン反力地耐力の適否 ・ 瀧回し, 棧橋の可否および異常出水の有無 ・ 供用街路通行規制の可否 ・ 整地, 造成, 改良の有無および撤去, 移設の可否 ・ 埋設物等, 支障物の有無および撤去, 移設の可否 	<p>11. トラベラクレーンの組立</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 組立ヤード (既設桁上面, 取付道路, 隣接径間部等) の有無 ・ 組立用クレーンの据付および作業の可否 ・ トラベラクレーン荷重による橋体強度の確認
<p>4. ベント設備</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 平坦性および地耐力の適否 ・ コンクリートまたは杭基礎施工の可否 ・ 河川, 海上部の杭基礎工の可否 (地形, 地質, 管理者協議) ・ 埋設物, 水路等, 支障物の有無および撤去, 移設の可否 ・ ベント設備質量の適正範囲 	<p>12. フローティングクレーンの進入</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 進入経路水深の適否 ・ 進入経路および既設橋桁下空間の上空障害の有無 ・ 水面利用に関する関係機関の協議
<p>5. トラッククレーンによる一括架設</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 橋体組立ヤードの有無 ・ 供用街路通行規制の可否 ・ 部材の座屈等の照査, 確認 ・ クレーン能力 (調達) の可否 ・ クレーン据付場所確保の可否 	<p>13. フローティングクレーンによる一括架設</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 架設地点水深の適否 (または浚渫の可否) ・ 架設地点上空障害の有無 ・ 航路閉鎖の可否 ・ クレーン能力 (調達, 基地) の可否 ・ 水面利用に関する関係機関の協議 ・ 吊上げに対する橋体強度, 吊点部補強の確認 ・ 橋体組立ヤードおよび浜出し設備の有無, 岸壁, 揚重設備等
<p>6. ケーブルクレーン鉄塔設備</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 鉄塔設置スペースの有無および荷取スペースの確保の可否 ・ 鉄塔基部の地耐力または構造物強度の適否 ・ トラッククレーン等作業車両の接近, 据付の可否 ・ 架空線, 鉄道, 空域制限等, 支障物の有無 	<p>14. 可搬式フローティングクレーン</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 組立, 解体ヤードの有無 ・ 水深の適否 ・ 流速, 潮流の適否 ・ 水面利用に関する関係機関の協議
<p>7. アンカー設備</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 周辺街路, 家屋等への支障の有無 (控え索等) ・ コンクリートアンカー設置に対する地形, 地質の適否 ・ グラウンドアンカー設置に対する地形, 地質の適否 ・ 作業機械接近の可否 ・ 地下水位の有無および高さの確認 	<p>15. 台船の進入</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 進入経路水深の適否 ・ 進入経路および既設橋桁下空間の上空障害の有無 ・ 水面利用に関する関係機関の協議
<p>8. 荷取ヤード</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ヤードまでの搬入路の有無 ・ 桁下内の荷取スペースの有無 (橋台背面部のヤード困難時) 	<p>16. 台船による一括架設</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 水面から桁下端までの高さの適否 ・ 流速, 潮流の適否 ・ 水面利用に関する関係機関の協議

表-解 9. 1. 4 架設地点の要因と架設工法の適用性 (1)

	架設工法	適用可能橋梁形式	地形条件等	備考
1	<p>トラッククレーンペンバント工法</p> 	<p>◎車線府 (1型, 箱形断面桁) ◎連続府 (1型, 箱形, 断面桁) ◎曲線府 ◎単純トラス ◎連続トラス ◎アーメン橋 ◎鋼橋脚</p>	<p>地形条件等</p> <p>1) 陸上部で、ペントおよび桁の架設地点までトラッククレーンが進入できること 2) 流水部でも瀬回しまたは栈橋等によりペントの設置が可能でトラッククレーンが進入できること 3) 共用中の道路を作業体帯とする場合、交通規制により自走クレーン車が進入できること 4) ペントの設置およびトラッククレーンの据付に必要な地耐力が確保できること</p>	
2	<p>トラッククレーン一括架設工法</p> 	<p>◎車線府 1型, 箱形断面桁) ◎鋼橋脚</p>	<p>1) トラッククレーンの進入は可能であるが、ペントの設置が不可能な場合 2) 桁架設地点付近に橋体組立ヤードが確保できること 3) 吊り荷重に見合ったトラッククレーンが調達できること 4) トラッククレーンの据付に必要な地耐力が確保できること</p>	架設時の橋体強度確認
3	<p>ケーブルクレーンペンバント工法</p> 	<p>○車線府 (1型, 箱形断面桁) ○連続府 (1型, 箱形断面桁) ○曲線府 ○単純トラス ○下路アーチ ○下路ローゼ ○下路ランガン ○斜型橋</p>	<p>1) ペント設置は可能であるが、トラッククレーンの進入が不可能な場合 2) ケーブルクレーン設備の設置が可能なこと ・ 鉄塔・アンカー設備および荷取ヤードの設置が可能なこと ・ 桁下に鉄道および架空線等がない場合 3) 鉄塔支間が2.50 m程度以下の場合</p>	

適用可能橋梁形式欄の凡例【◎：頻繁に適用される橋梁形式、○：時々適用される橋梁形式】

表-附9. 1. 4 架設地点の要因と架設工法の適用性 (2)

架設工法	架設工法	適用可能橋梁形式	地形条件等	備考
4 ケーブルエレベクション吊り工法		④単軌トラス ④下路アーチ ④下路ローゼ ④上路ランガー ④上路ランガー	1) ペント設置ならびにトラックレールの進入が不可能な場合 2) ケーブルエレベクション設備の設置が可能なこと ・鉄塔・アンカー設備および荷取ヤードの設置が可能なこと ・桁下に鉄道および架空線等がない場合 3) 鉄塔支間が150m程度以下の場合	
5 ケーブルエレベクション斜吊り工法		④上路アーチ ④上路ローゼ ④上路ランガー ④エラメン橋	1) ペント設置ならびにトラックレールの進入が不可能な場合 2) ケーブルエレベクション設備の設置が可能なこと ・鉄塔・アンカー設備および荷取ヤードの設置が可能なこと ・桁下に鉄道および架空線等がない場合 3) 鉄塔支間が200m程度以下の場合	架設時の橋体強度確認
6 送出し工法		等断面の1桁、箱形断面桁、ゆるやかな曲線桁 (R=500m程度以上)	1) 桁下空間に次の制約がある場合 ・鉄道線路がある ・交通規制をしにくい主要道路がある ・ペントが設置できない河川、山間峡谷部である ・トラックレールが進入できずケーブルエレベクション設備の設置が不可能な場合 2) 送出しヤードが確保できること 3) 縦断勾配が5%程度以下であること	架設時の橋体強度確認

適用可能橋梁形式欄の凡例【◎：頻繁に適用される橋梁形式、○：時々適用される橋梁形式】

表-解 9. 1. 4 架設地点の要因と架設工法の適用性 (3)

架設工法	架設工法	適用可能橋梁形式	地形条件等	備考
7 架設桁工法		◎曲線桁 (I形、箱形断面桁) ◎断面の板桁、箱桁 ○下路アンカー ○下路ローゼ ○下路ランガー ○下路トラス	1) 桁下空間に次の制約がある場合 ・鉄道線路がある ・交通規制をしにくい主要道路がある ・ベントが設置できない河川、山間峡谷部である ・トラッキングレールが進入できずケーブルエレクション設備の設置が不可能な場合 2) 送出しヤードが確保できること	架設時の橋体強度確認
8 トラベラクレーン工法		◎連続トラス ◎斜張橋 ○連続桁 (I型、箱形断面桁) 曲線、縦断変断面で送出しできない形状	1) 桁下にトラッキングレールが進入できずケーブルエレクション設備の設置ならびに送出しヤードの確保が、共に不可能な場合	架設時の橋体強度確認
9 フローティングクレーン一括架設工法		○単純桁 (I形、箱形断面桁) ○連続桁 (I形、箱形断面桁) ○単純トラス ○連続トラス ○鋼橋脚	1) 桁の架設地点までフローティングクレーン (以下FC) が進入できること 2) 流速、潮流が早くないこと 3) 吊り荷重に見合ったFCが調達できること 4) 架設工期が制約される場合 5) 橋体を搬出できる岸壁や、揚重設備を確保できること	架設時の橋体強度確認

適用可能橋梁形式の凡例【◎：相家に適用される橋梁形式、○：時々適用される橋梁形式】

表-解 9. 1. 4 架設地点の要因と架設工法の適用性 (4)

	架設工法	適用可能橋梁形式	地形条件等	備考
10	フローティングクレーンベント工法 	◎斜張橋 ○連続桁 (I形、箱形断面桁) ◎曲線桁 ○単純トラス ○連続トラス	1) F.C.または可搬式F.C.の使用が可能で、かつベント設備の設置が可能なる場合 2) 流速、潮流が早くないこと	
11	台船一括架設工法 	○単純桁 (I形、箱形断面桁) ○連続桁 (I形、箱形断面桁) ○単純トラス ○下路アーチ ○下路ローゼ ○下路ランガー	1) 桁の架設地点まで進入できること 2) 流速、潮流が早くないこと 3) 桁下から水面までに高さがあまり高くないこと	架設時の橋体強度確認
12	大型搬送車による一括架設工法 	◎単純桁 (I形、箱形断面桁) ○鋼橋脚	1) 大型搬送車が架設地点まで進入できつこと。 2) 架設地点付近に橋体の地組かロードが確保できること。	

適用可能橋梁形式欄の凡例【◎：頻りに適用される橋梁形式、○：時々適用される橋梁形式】

表-解9.1.5 鋼橋の構造形式と架設工法の適用性

		箱桁		トラス橋		アーチ系橋梁		ラーメン橋	斜張橋	鋼橋脚
		直線	曲線	直線	曲線	下路	上路			
ベント工法	トラッククレーン（地上） トラベラクレーン 門形クレーン ケーブルクレーン フローティングクレーン									
送出し工法	本体 手延べ 架設桁 移動ベント 台船									
ケーブルエレクション工法	直吊り 斜吊り									
片持式工法	トラッククレーン（地上） トラベラクレーン 架設機 ケーブルクレーン 台船 フローティングクレーン									
一括架設工法	トラッククレーン（地上） 大型搬送車 台船 吊上げ装置 フローティングクレーン									

注) : 実施例が多い工法, : 有力工法, : 施工実績がある工法

(3) 架設計画書

架設計画書は、選定された工法について作業手順等を定め、所定の様式に準拠して工事着手前に作成する。また、工事の内容と手順を周知させるために作成するもので、特に安全管理の方法と品質管理・工程管理の方法については、具体的に現実に沿った要領を記載する必要がある。

施工計画書に記載する標準的な内容を以下に示す。

- § 1 総則
- § 2 工事概要
- § 3 現場組織
- § 4 緊急時の連絡体制
- § 5 仮設備計画
- § 6 保安設備
- § 7 主要材料
- § 8 主要機械
- § 9 架設計画
- § 10 安全衛生管理
- § 11 施工管理
- § 12 対外協議関係
- § 13 工事工程表

なお、§ 9 架設計画の標準的な項目は以下のとおりである。

- 9 - 1 架設概要
- 9 - 2 架設準備
- 9 - 3 架設要領
 - 1) 測量要領
 - 2) 架設要領
 - 3) 無収縮モルタル施工要領
 - 4) 継手部施工要領
 - 5) 現場塗装施工要領
 - 6) 足場防護工施工要領
- 9 - 4 架設計算
 - 1) 構造物本体の安定，部材の安定性の照査
 - 2) 架設中の各段階の変形，たわみの計算
 - 3) 主要仮設構造物，機材，安全設備の照査
 - 4) 設置するクレーンの検討

9.1.3 架設の容易性

架設の容易性は，架設計画においてだけでなく，設計・製作および輸送段階においても十分に考慮しなければならない。

【解 説】

架設の容易性を満足することは，架設作業の安全性と確実性を確保しつつ，経済的な施工につながる。架設にあたっては，設計で考慮された諸条件を十分に理解する必要がある。

(1) 設計・製作上の留意点

設計・製作上，配慮すべき事項を以下に示す。

- 1) 継手位置の決定においては，架設順序，支保工設置可能位置，使用可能な架設機材などによる制約に注意する。
- 2) 現場継手については，構造上現場施工が困難な箇所はないか検討する。
- 3) 架設工法，順序等によって自重，横荷重，その他の荷重に差異が生じるので架設中の部材力や変形等に注意する。
- 4) 桁の吊上げや横移動に用いる金具や補強材については，あらかじめ計画・設計段階で決定し，製作段階で取り付ける。塗装，床版工，検査，その他に必要な足場用の金具なども，設計時に考慮しておくことが望ましい。
- 5) 仮組立時の支持条件，温度，カンバーおよび諸寸法を確認し，その数値を基に架設計画を作成しなければならない。
- 6) 一般に仮組立時の支持条件と架設時の支持条件とは異なるので，架設工法によっては，仮組立時に連結板の取付け，あるいは部材の取付けが困難な場合がある。このような場合においては，仮組立に際し，架設時との条件の相違に配慮しなければならない。

(2) 輸送上の留意点

- 1) 輸送可能な最大寸法，最大重量を現地調査等に基づいて把握し，それらを設計の際考慮する。

- 2) 輸送寸法によっては輸送時に部材に応力が生じる場合もあるので、設計段階においてこれを検討する。
- 3) 部材の輸送時期、順序、添接板の取付け、付属品の取付けにおいては、架設状況を十分に把握して行う。
- 4) 大ブロック工法のように、輸送と架設を一連の工程で行う場合もあるので、輸送状況を十分に把握する。

9.2 組立精度の事前確認

構造物の形式や架設工法の難易度を検討した上で、組立精度の事前確認（仮組立）を必要に応じて実施する。

【解説】

(1) 仮組立省略

平成10年当初の仮組立省略工事の適用条件は、桁形式がI桁、直橋、斜角75°以上で、架設方法が多点支持ベント工法に限定されていたが、その後、日本橋梁建設協会では仮組立省略の適応範囲を以下のように追加提案している。

製作～架設までが一体となった工事

契約図書(特記仕様書等)に仮組立検査省略を明記した工事

適用範囲 構造形式：鋸桁、箱桁（鋼床版、めっき桁は除く）

線形：直線桁、折れ桁、曲線桁（曲率半径：1000m以上）

斜角：75°以上（端支点・中間支点）

継手形式：ボルト継手、溶接継手（鋸桁のみ）

桁高一定桁

架設工法：多点支持ベント工法、地組立て後一括架設

(2) 実仮組立

実仮組立は、部材を多点支持することで、無応力状態にすることを原則とする。また、仮組立では、主要部分の連結部はボルトおよびドリフトピンを用いて堅固に接合する必要がある。仮組立施工時に、主桁の通りやそりを改善するために、連結部を堅固に結束したままで、支持点の反力を変え、仮組立形状の調整を行うと、部材に内部応力が導入されることになり、架設時に仮組立の再現ができなくなるので注意を要する。例えば、上下分割桁等を一体組立し、ボルトを締付けた状態で溶接した場合などは、内部に溶接による応力が導入されていることが考えられるため、仮組立前には、一旦ボルトを緩めて応力を開放するなどの処理が必要である。実仮組立の中でも、通常の箱桁や鋸桁などは一括組立が可能である（写真-解 9.2.1 参照）が、トラスやアーチ橋梁など仮組立高さが高くなる橋梁形式の場合は、立体組立とする以外に各面を分割する平面組立として仮組立する方法がある（写真-解 9.2.2 参照）。この分割仮組立を採用する場合は、分割した部分の整合性を確実にする方法を事前に検討し、架設時に問題のないように対処しなければならない。また、橋長が仮組立ヤードと比べて長い場合、分割して仮組立を実施することになるが、分割部分については、重複仮組立を実施するなどして、分割継手に問題がないことを確認する必要がある。さらに、複数の場所で橋梁を分割して製作する場合は、分割継手の確認方法を、予め検討する必要がある。その方法としては、重複仮組立による方法もあるが、各工場で継手の計測を行い、その計測数値を用いてシミュレーションを行い、分割継手の添接板を決める方法もある。ただし、この確認方法を採用する場合は、計測位置およびシミュレーションの方法等を事前に検討し決定しなければならない。また、仮組立を行った時に現場架設の円滑な進捗を図るために、基準線を罫書いたり、あるいは基準孔を設けたりするこ

とは有効となる。

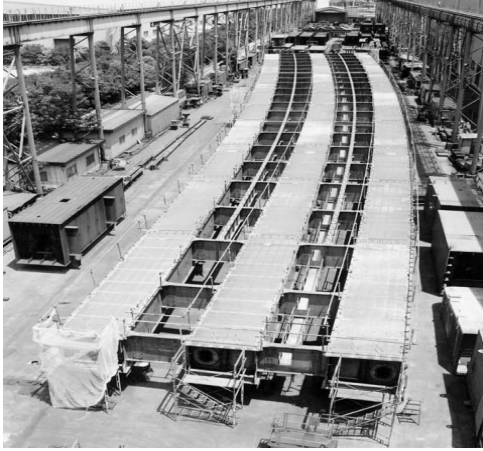


写真-解 9.2.1 箱桁の仮組立例



写真-解 9.2.2 トラスの分割仮組立例

(3) シミュレーション仮組立

シミュレーション仮組立とは、実際に仮組立を行う代わりに、3次元計測システムにより個々の部材形状を計測し(写真-解 9.2.3)、計測されたデータと設計データを使用して、コンピュータ上でのシミュレーションによって仮想の仮組立を実施し、所定の寸法精度が得られることを確認する方法である。その計測システムやシミュレーションには種々の方法が提案されているが、十分に信頼できることが確認されたシステムを採用すれば、また単純な形式の橋梁であれば、実際に部材を組立てる実仮組立と同等の精度を有していると見なすことも可能である。また、近年では、全ての橋梁形式において3次元CADを使用した原寸方法が確立されてきているため、そのCADデータを利用すれば、橋梁形式を問わずシミュレーション仮組立が可能となっている。しかし、鋼床版桁のように工場仮組立時に継手の調整を要する部材や、断面分割タイプの大断面箱桁のように溶接変形の影響が大きく、シミュレーション時の調整が困難な部材などは、シミュレーション仮組立の採用時に注意を要する。また、各シミュレーションのシステムによって、適応可能な橋梁形式が異なるため、予め十分に調査し、シミュレーション仮組立の採用を決定すべきである。

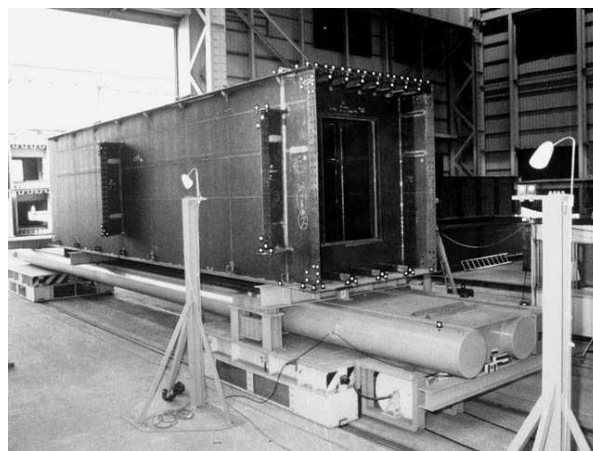


写真-解 9.2.3 シミュレーション仮組立計測状況

9.2.1 仮組立精度

- (1) 仮組立では、部材を組立てた時の出来形を確認するために、予め決められた部位を、適切な方法で、計測しなければならない。計測値は、設計段階で要求される性能を満足し、さらに架設に支障のない範囲内である必要がある。
- (2) 計測部位は、設計段階で要求される性能を確認できる箇所と範囲とする。また、架設工法が特殊な場合は、その工法を考慮して、必要な計測部位を定める。

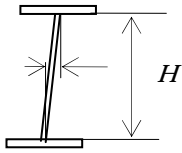
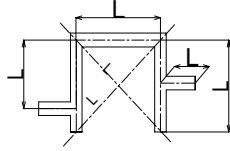
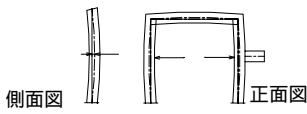
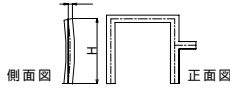
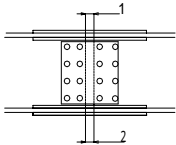
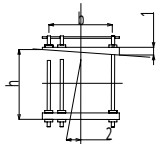
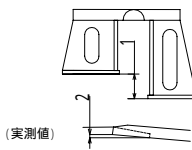
【解 説】

(1) 仮組立精度として、例えば道路橋示方書では表-解 9.2.1 のように規定している。英国の基準である BS では仮組立出来形の基準は記載されていない。また米国の AWS にはカンバーと桁の通りの簡単な基準が記載されているのみである。これらを参考に仮組立精度を定めるとよい。

仮組立精度について、我が国の橋梁については、一般に道路橋示方書の基準あるいは各鉄道・道路管理機関の精度基準を採用すること多い。各部位の精度許容値に変更の必要が生じた場合は、その変更の根拠を明らかにし、設計で要求される性能および架設作業に問題がないとことを確認しなければならない。

表-解 9.2.1 仮組立の精度（道路橋示方書）

項目	許容誤差	備考	測定方法
全長・支間長 L (m)	$\pm (10+L/10)$		
主げた・主構の中心 間距離 B (mm)	± 4 $B \leq 2$ $\pm (3+B/2)$ $B > 2$		
主構の組立高さ H (m)	± 5 $H \leq 5$ $\pm (2.5+H/2)$ $H > 5$		
主げた・主構の橋端 δ (mm)	$5+L/5$ $L \leq 100$ 25 $L > 100$	L : 測線長 (m)	
主げた・主構のそり δ (mm)	$-5 \sim +5$ $L \leq 20$ $-5 \sim +10$ $20 < L \leq 40$ $-5 \sim +15$ $20 < L \leq 80$ $-5 \sim +25$ $20 < L \leq 200$	L : 主げた・主構の支間長 (m)	
主げた・主構の橋端にお ける出入り差 δ (mm)	10		

	主げた・主構の鉛直度 δ (mm)	$3+H/1,000$	H : 主げた・主構の 高さ (mm)	
鋼 製	柱の中心間隔・ 対角長 L (mm)	± 5 $L \leq 10$ ± 10 $10 < L \leq 20$ $\pm 10 + \left(\frac{L-20}{10}\right)$ $20 < L$		
	はりのカンバー および 柱の曲がり (mm)	$L/1000$	L : 測線長 (m)	
脚	柱の鉛直度 (mm)	10 $H \leq 10$	H : 高さ (m)	
	鉛直度 2 (mm)	H $H > 10$		
	現場継手部のすき間 (mm)	5	: 右図における $\delta 1, \delta 2$ のうち大き いもの (mm)	
アン カー フ レ ーム	上面の水平度 l (mm)	$b/500$	b : ボルト間隔 (mm)	
	鉛直度 2 (mm)	$h/500$	h : 高さ (mm)	
	高さ h (mm)	± 5		
伸 縮 装 装	組合せる伸縮装 置の長さの差 l (mm)	設計値 ± 4		

現場継手（ボルト接合）の隙間は、強度上、防錆上問題がないように適切に管理しなければならない。架設上の落とし込みブロックや閉合部等のように、予め隙間を空けておく必要がある場合などは、名古屋高速道路公社や阪神高速道路等の基準には、予め決められた隙間に対して $\pm 3\text{mm}$ の許容値を定めている。また、国土交通省の共通仕様書では耐候性橋梁の隙間に対して $\pm 5\text{mm}$ の許容値を定めている。隙間が大きいことで、水の浸入が問題になる場合には、止水剤を充填する等の防水処理をする方法もある。

- (2) 計測部位は、たとえば道路橋示方書では表-解 9.2.2 のように規定されている。また、その計測方法は温度による影響を考慮する必要がある。

表-解 9.2.2 仮組立の測定箇所又は個数

項目		鋼げた	トラス、アーチなど
全長、支間長 L (m)		主げた・主構全数	
主げた・主構の中心間距離 B (m)		各支点および各支間中央付近	
主構の組立高さ H (m)		-	両端部および中央部
主げた・主構の通り (mm)		最も外側の主げたまたは主構について支点および支間中央の1点	
主げた・主構のそり		各主げたについて 10 ~ 12 m 間隔	各主構の各格点
主げた・主構の橋端における出入り差 (mm)		どちらか一方の主げた(主構)端	
主げた・主構の鉛直度 (mm)		各主げたの両端部	支点および片持ばり部
鋼製橋脚	柱の中心間隔・ 対角長 L (m)	-	両端部および片持ばり部
	はりのキャンバー および柱の曲がり (mm)	-	各主構の各格点 各柱および片持ばり部
	柱の鉛直度 (mm)	-	
現場継手部のすき間 (mm)		主げた・主構の全継手数の 1/2	
アンカーフ レーム	上面の水平度 (mm)	-	軸芯上全数
	鉛直度 (mm)	-	
	高さ h (mm)	-	
伸縮装置	組合せる伸縮装置 との高さの差 l (mm)	両端部および中央部付近	
	フィンガーの 食い違い z (mm)		

9.2.2 連結部の確認

連結部は設計の要求性能を満足し、架設に支障がないことを確認する必要がある。

【解説】

連結部の精度確認を、適切な方法で行う必要がある。部材計測のみで仮組立を実施しない場合は、連結部の寸法計測を行うか、あるいは部材の孔加工方法や精度管理により架設に支障がないことを確認する必要がある。仮組立を実施する場合は、連結部を貫通ゲージにより直接確認することが可能である。また、付属物の連結部分では不適合が生じる場合が少なくないため、特に注意して確認する必要がある。

支圧接合では、孔の精度が打ち込み作業の難易に大きく影響するため、孔ずれを 0.5mm 以下に管理する必要があるとした規格もある。

摩擦接合の場合は、架設においてボルトの挿入に支障をきたさないようにするため、仮組立時に全ての孔を適切な貫通ゲージにて確認する必要がある。道路橋示方書に示されているボルト径と貫通ゲージの貫通率と停止率の関係を表-解 9.2.3 に示す。

表-解 9.2.3 ボルト孔の貫通率および停止率

	ねじの呼び	貫通ゲージの径 (mm)	貫通率 (%)	停止ゲージの径 (mm)	停止率 (%)
摩擦/引張接合	M20	21.0	100	23.0	80 以上
	M22	23.0	100	25.0	80 以上
	M24	25.0	100	27.0	80 以上
支圧接合	M20	20.7	100	21.8	100
	M22	22.7	100	23.8	100
	M24	24.7	100	25.8	100

拡大孔を採用する場合、道路橋示方書では表-解 9.2.4 のように規定している。この規定では、拡大孔採用の条件として、部材を組み合わせた状態にてリーミングを行うことが難しい場合としている。しかし、架設の方法により、仮組立時と架設時の部材の応力状態が異なる場合や、鋼床版桁の腹板や縦リブのように仮組立時と架設時で継手の状況が異なる場合には、貫通ゲージの径について検討し、架設時に支障がないように注意する必要がある。

表-解 9.2.4 拡大孔を用いる場合の貫通率および停止率

貫通ゲージの径 (mm)	貫通率 (%)	停止ゲージの径 (mm)	停止率 (%)
$d_0 + 1.0$	100	$d_1 + 0.5$	80 以上

d_0 : ボルト呼び径 (mm)

d_1 : 拡大孔径 (mm)

溶接継手接合部は、目違いおよびルートギャップに注意が必要である。現場溶接の基準および許容値は、現場溶接での施工性を考慮し、さらに溶接品質が確保できるように設定すべきである。その具体的な数値については、過去の実績あるいは現場溶接施工試験等によって、事前に決定すべきである。

9.2.3 不適合品の取り扱い

仮組立および部材計測において、その計測結果が予め定められた許容範囲を満たさない場合には、許容範囲に収まるように調整や補修を実施する、あるいは対象部材を破棄する。

【解説】

部材の補修が必要になった場合、その補修や調整方法に関しては、予め、その方法について十分に検討する必要がある。特に仮組立の精度を補正するために、仮組立部材に内部応力が生じるような調整を行ってはならない。また、補修のために、部材を一部切断し、再溶接を行う場合には、「5章 溶接接合」に従う。ただし、このような補修溶接を行う場合には溶接姿勢が限定されることが考えられるため、十分検討した上で適切な補修方法を予

め決定する必要がある。また、非破壊検査などにより補修箇所有害なきずがないことを確認する必要がある。橋長が長く、全体の溶接収縮量の予測が困難な場合については、一部調整桁を設けるなど、事前の仮組立計画において、不適合が生じないような予防措置を採用することが重要である。

仮組立および部材計測において、その計測結果が予め定めた許容値を満たさず、その部材を補修なしで使用せざるを得ない場合には、設計で要求される性能を満足し、また架設上問題のないことを十分に確認する必要がある。

9.3 架設時の安全性

- (1) 架設においては、架設対象部材と仮設構造物とに対して、耐荷力と安定性とを十分確保しなければならない。
- (2) 架設条件は工事ごとに異なるため、架設場所の地形、気象条件、工法等を十分考慮する。
- (3) 設計と異なる架設工法および架設順序により施工する場合は、改めて架設時の検討を行い、安全性を確認しなければならない。

【解 説】

鋼・合成構造物の架設時には、架設途中の本体部材と施工用の仮設構造物とが一体的な構造体となっている場合が多い。したがって、架設時の施工安全性を確保するためには、それぞれの部材や構造物を総合的に認識することも重要である。また、架設の対象となる構造物は、架設の途中段階では完成時とは異なる構造系となることが多い。架設の途中段階で構造物に生ずる断面力が、完成時に生ずる断面力と異なる場合には、架設の段階ごとに支持条件、構造系などを確認し一時的に作用する架設機材の荷重、風、地震などの施工時の作用に対して十分な耐荷性能を保有していることを確認する。

鋼・合成構造物は、架設方法や架設手順により架設系が完成系と著しく異なる場合があるので、設計段階から架設工法や架設手順を十分に考慮しておかなければならない。また、架設工法や架設手順が同じでも、温度応力等の影響により架設が困難となることもあるので、設計に当たっては施工条件等を十分に配慮する必要がある。

現場の条件が設計で当初想定した条件と異なることもあり、設計時に想定した施工法または架設順序を変更しなければならないこともある。その場合には、改めて架設時の応力および変形等について検討し、安全性の照査を行わなければならない。

9.3.1 架設時の安全性の照査

- (1) 本体構造物および仮設構造物の架設時の安全性の照査にあたっては、本体構造物の特性、現地架設条件を考慮しなければならない。
- (2) 本体構造物の安全性の照査には、部分係数法と限界状態設計法を用いることを標準とする。
- (3) 仮設構造物の照査は、機材の種類や材質、現地の条件を考慮して適正な設計法で行う。

【解 説】

鋼・合成構造物は、架設の各段階において十分に安全性が確保されていなければならない。本体構造物は、完成系として設計されるのが一般的である。しかし、構造物によっては、架設の段階で完成後とは外力の作用状態が著しく異なり、場合によっては部材に作用する力の方向が逆転することもある。したがって、架設の各段階で本体構造物の安全性の照査を行う必要がある。

安全性の照査は、原則として設計編と同様に、架設時作用による架設時応答値と材料強度に基づく架設時限界値ならびに各部分係数を用いるものとする。その際、式(解 9.3.1)および式(解 9.3.2)の照査式を用いるとよい。

$$\gamma_i \frac{S_d}{R_d} \leq 1.0 \quad (\text{解9.3.1})$$

$$\gamma_i \frac{\sum \gamma_a \cdot S(\gamma_f \cdot F_k)}{R(f_k/\gamma_m)/\gamma_b} \leq 1.0 \quad (\text{解9.3.2})$$

ここに、

- R_d : 架設時限界値
- f_k : 材料強度の特性値
- γ_m : 材料係数
- γ_b : 部材係数
- $R(\dots)$: 材料係数から構造物の限界値を算出するための関数
- S_d : 架設時応答値
- F_k : 個々の作用の特性値
- γ_a : 構造解析係数
- γ_f : 個々の作用に対する作用係数
- $S(\dots)$: 作用から構造物の応答値を算出するための関数
- γ_i : 構造物係数

架設時の安全性の照査は、架設条件に応じた限界状態を対象として行うものとする。

照査方法としては、信頼性設計の考え方に基づいた部分係数を用いた照査様式を標準とした。限界状態としては架設時安全限界状態を基本とする。

以下設計編と同様、構造物の架設時における重要度や限界状態に達した際の社会的・経済的影響によって定める部分係数(構造物係数 γ_i)を用いた基本照査式の式(解 9.3.1)に用いて行う。この式を用いれば、架設時の R_d や S_d は、性能項目に応じて構造解析手法を問わず、荷重、断面力、応力、変位などを選ぶことが可能である。そして、架設時限界値 R_d と架設時応答値 S_d の算出においては、部分係数法を用いた照査様式の式(解 9.3.2)を用いる。

ここに、 γ_f 、 γ_m 、 γ_a 、 γ_b はそれぞれ作用係数、材料係数、構造解析係数、部材係数であり、これらは特性値からの望ましくない方向への変動、計算における値の算出方法の不確実性、作用や実構造物・実材料などのばらつき等を考慮して定めるものとする。

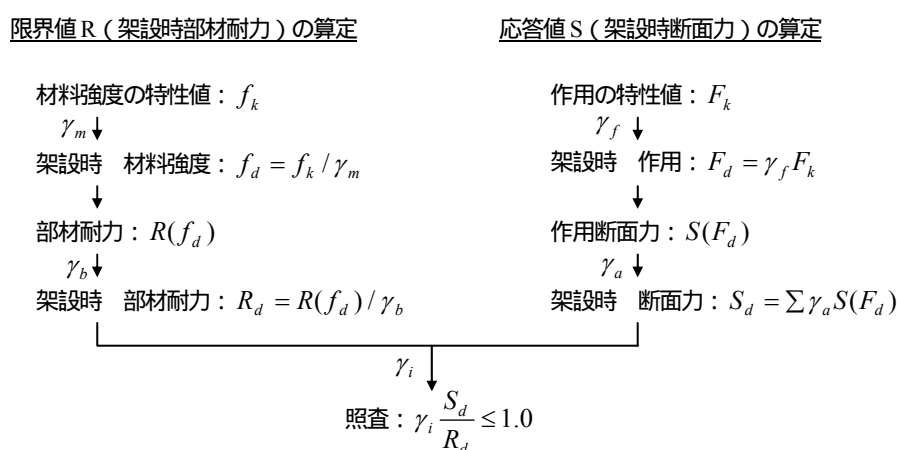


図-解 9.3.1 耐荷力に関する安全性の照査の概念

また、送出し、横取り、こう上・こう下など架設時に構造物全体を移動させる場合もあり、その際に仮支点が大きく変位すると構造物の安定性を損なうことがある。したがって、仮設備等の設計に際しては、応力度のみならず、支点変位に対する照査も必要である。

架設途中の構造物は仮支点で支持されるなど、完成系と比較して境界条件が多様である。また、架設時の荷重は主に死荷重であり、施工中は必ず継続して作用している。このため架設設計に際しては、各支点に作用する不均等荷重などを含め、架設状況を適切に考慮したうえで、荷重を安全側に設定することも必要である。

架設施工に先立って仮設構造物の設計を行う。仮設構造物の安全性の照査においても、部分係数法を用いることを原則とする。しかし、仮設部材は繰返し用いるのが一般的であり、工事によっては改造や補修が行われている。そのため、仮設部材の部分係数を新設の部材と同様に定めることは困難である。従来、仮設構造物の設計は、経験に裏付けられた方法で行われるのが一般的であった。そのため、ここでは過去の実績を重視して、従来の架設資材と架設機材を前提とした、従来の手法による仮設構造物の設計法を用いてもよいとした。

9.3.2 架設時の部分係数

- (1) 架設時の安全性の照査においては、作用の組合せを考慮して、責任ある技術者の判断により、必要に応じて作用係数に関する架設時の低減係数を導入してもよい。
- (2) 構造物係数は、供用時の値とは別に、架設時の特性を考慮して適正な値を定める。

【解 説】

完成後の構造物の供用期間に比べて架設期間はきわめて短い。前項であげた作用のいくつかは本体構造の安全性にほとんど影響を与えない場合もある。また、架設条件によっては、その作用の影響が極めて限定的であることも考えられる。さらに、個々の作用が重複して生起する確率はさらに低くなると考えられるので、架設時の構造安全性を照査する際にはそれぞれの作用の組合せに応じて、技術者の判断によって作用係数の低減係数を導入するのがよい。架設時の作用に対して過大な構造、過大な施工にならないように留意することが重要である。

同様の理由により、構造物係数も架設条件を考慮して適正に低減してよいとした。その他、材料係数 γ_m 、部材係数 γ_b 、構造解析係数 γ_a は、設計で定めた値と同じとすればよい。

以上の事項については、「設計編 1.4 設計の基本、1.5 構造物係数」を参照して、設計との整合を計らなければならない。

9.3.3 作用

- (1) 架設時の作用は、「設計編 第2章 作用」を参考にする。
- (2) 架設時の作用のうち、構造安全性に関わる作用を選定し架設状況に応じてそれらを組み合わせる。

【解説】

鋼・合成構造物の架設では、施工中に発生する種々の作用について安全性を確認しなければならない。構造物への作用については、「設計編 第2章 作用」において、作用の概念、作用の種類、作用の組合せ、作用の大きさが記述されている。架設においても安全性を照査するに際しては、設計と同様の考え方を基本とし、架設の特性を十分考慮した上でそれぞれの作用の組合せを用いることが必要である。

架設時の作用について、鋼橋の架設を例に作用の種類とそれらの組合せを以下に示す。

(1) 作用の種類

架設時構造安全性の照査にあたっては、次の作用を考慮する。

基本鉛直荷重 (P_0)

風荷重 (W)

地震の影響 (EQ)

雪荷重 (SW)

温度変化の影響 (T)

照査水平荷重 (H_0)

衝撃荷重 (I)

摩擦力 (F)

不均等荷重 (U)

予想される特殊な荷重 (S)

上記の作用は、構造物を架設する際に通常考えなければならないものであるが、これらは必ずしも全てを考慮する必要はなく、架設する構造物の種類や架設工法、時期、期間などの諸条件を検討することにより適宜選択するとよい。また、土圧、波圧、浮力、衝突荷重など、その他の特殊な荷重が作用すると予想される場合は、必要に応じてそれらを考慮しなければならない。

基本鉛直荷重 (P_0)

基本鉛直荷重は、本体構造物、仮設構造物および架設機材などの重量とし、架設段階ごとに算定することを原則とする。

風荷重 (W)

風荷重は架設する構造物の形状、架設の条件などを考慮して定めるものとし、設計基準風速などの基本条件は、「設計編」を参照する。

風荷重は、対象とする構造物が広範囲にわたり、一律に規定するのが困難なため、架設時設計風速による風圧力と構造物の有効投影面積を基本にして算出することを原則とする。

風荷重は、原則として架設する構造物の風上側軸線に直角水平方向に作用する等分布荷重とし、考えている部材に最も不利な応力が生じるように載荷することとする。ただし、風向き方向に部材が重なっている場合でも、風下部材に相当な風圧が予想されるときには、風下側にも風荷重を載荷するものとする。

なお、抗力係数は、機械工学便覧 [日本機械学会, 1986]、流体力学ハンドブック [日本流体力学会, 1988] などの参考資料や表-解9.3.1 [本州四国連絡橋公団, 1970] や表-解9.3.2 [本州四国連絡橋公団, 1976] を参考に定めてよい。

表-解 9.3.1 基本的な断面形の抗力係数 (明石海峡大橋耐風設計要領・同解説)

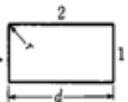



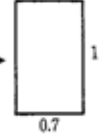

断面形状	抗力係数	断面形状	抗力係数
風向 → ○ 円形断面	1.2	風向 →  矩形 [() は $r > d/12$ のとき]	1.5 (1.1)
風向 →  平板またはそれに近い形状	2.2	風向 →  正方形 [() は $r > d/12$ のとき]	2.1 (1.5)
風向 →  平板またはそれに近い形状	1.8	風向 →  長方形	2.7
風向 → ◇ 正方形 (対角線方向)	1.5	風向 →  長方形 [() は $r > d/29$ のとき]	2.3 (2.1)

表-解 9.3.2 桁の抗力係数 (本州四国連絡橋公団,耐風設計基準・同解説)

構造部分		抗力係数	備考
橋梁構造	トラス構造	単橋床	$1.1\sqrt{3}/(2\phi)$
		複橋床	$1.2\sqrt{3}/(2\phi)$
	充腹構造		$2.1 - 0.1(B/D)$
		1.3	$B/D > 8$ の場合

ここに、 ϕ : 充実率、 B : 桁幅、 D : 桁高

地震の影響 (EQ)

地震の影響は、基本鉛直荷重に架設時設計震度を乗じた地震荷重として取扱い、架設系の水平方向に載荷し、それによる断面力・変形などを計算することにより照査する。なお、架設時設計震度は架設地点の地震活動度、地盤条件、系の固有周期を考慮して決めるものとする。

地震による動的応答が安全性に著しく影響する場合や、架設系が複雑な動的応答特性を有する場合には、適切な地震動のもとに、その動的応答を評価することが望まれる。

架設時における地震の影響は、当示方書・耐震設計編 [土木学会, 2008]、道路橋示方書・耐震設計編 [日本道路協会, 2002] や鉄道構造物等設計標準・耐震設計 [鉄道総合技術研究所, 1999] にも規定されていないが、実績のある設計法として、基本鉛直荷重に震度を乗じて求め、検討の対象とする架設系の重心位置に水平方向のみに作用するものとみなす従来からの方法がある。ただし、水平面内での作用方向は一律には決めがたいので、対象とする部材に最も不利な応力が生じるように、載荷しなければならない。

動的解析による照査が必要な場合を判断することは難しい。たとえば、張出しが非常に長い桁や高い塔状構造物などで架設系が完成系に比べて可撓性に富む場合などがそれに相当する。

架設時の照査に用いる水平震度や入力地震動は、架設地点の地震危険度、地盤特性、架設工法、架設の段階での構造物の応答特性、架設期間、架設される構造物の重要度などを考慮して、適切に設定する。

架設時の耐震性能照査は、損傷が残らない弾性範囲を限界状態として行うのが原則である。なお、平成14年に改定された道路橋示方書や平成11年度に改定された鉄道橋設計標準においては、鋼構造物においても、供用期間

中に発生する確率は低い非常に強い地震動、いわゆるレベル2地震動に対する非弾性応答照査が新たに要求されるようになった。しかし、架設期間は一般に短いため、レベル2地震動クラスに対する耐震性能照査の要否については、第三者に及ぼす影響も含めて、十分に検討するとよい。

なお、鉛直地震動の影響は一般には小さく、通常の設計では考慮しなくてよい。

雪荷重 (SW)

工事期間中に積雪が予想される場合には、雪荷重を考慮する。雪荷重は、架設地点の環境や工事の諸条件に応じて考慮する。

a) 降雪期間に架設作業を行う場合

降雪期間に、除雪を前提に架設作業を行うときは、除雪が可能な範囲で、積雪深を想定して荷重を設定する。

b) 架設期間に冬期休止期間を設ける場合

積雪期の工事を休止するときは、工事地点あるいは近隣地区の積雪深を参考に雪荷重を設定する。雪の密度は、地域や季節などにより異なるが、大体の目安として下記の値を参考するとよい〔日本道路協会, 1980〕。

降りたての雪 1500N/m³

やや落ち着いた雪 3000~3500N/m³

圧縮された雪または大量に水を含んだ雪 5000~7000N/m³

温度変化の影響 (T)

温度変化の影響は、構造物の部材に生じる変形もしくは断面力として考慮するものとする。

温度変化の範囲は、架設する構造物の形状や架設条件を検討したうえで実状に応じて定めるものとする。

高次の不静定構造物の閉合を含むような特殊な架設では、昼夜の温度差は30℃、日光直射部分と日陰部分の温度差は15℃として検討している場合が多い〔土木学会, 1978〕。

照査水平荷重 (Ho)

照査水平荷重は、基本鉛直荷重に水平荷重係数を乗じたものとし、集中荷重として構造物の重心に水平方向に作用するものとする。

水平荷重は、鉛直荷重に比べて不確定な要素が多い。このため、特に水平荷重が予想されない架設条件のもとでも、安全を図る意味で、必要最小水平荷重として照査水平荷重を考慮するものとする。通常の架設では、水平荷重係数を0.05としてよい〔土木学会, 1978〕。ただし、特殊な構造形式、架設工法などに関しては適宜定める必要がある。

衝撃荷重 (I)

衝撃荷重は、基本鉛直荷重に衝撃係数を乗じたものとし、鉛直方向については基本鉛直荷重に加えて検討するものとする。

クレーンで部材を吊り込む場合、部材の巻上げ・巻下げ・制動に伴い、部材に衝撃荷重が加わる。吊金具については衝撃荷重と荷重の不均衡を考慮する。吊天びんなどの設計では、クレーン構造規格〔日本クレーン協会, 2001〕などを参考に衝撃荷重を算定するとよい。

施工時に作業車両・重機が構造物上を走行する場合は、道路橋示方書に示される値を上限として、走行速度などを勘案して衝撃係数を考慮する場合が多い。運搬台車による桁の移動・停止などは一般に移動速度が遅く、不均等荷重を考慮する場合は鉛直荷重に別途衝撃荷重を考慮する必要はない。しかし、運搬部材の移動・停止に伴う慣性力が大きい場合には、衝撃荷重を考慮する必要がある。

摩擦力 (F)

摩擦力は、摩擦面に垂直方向に作用する荷重に摩擦係数を乗じて算出する。摩擦係数は、摩擦面の形状などを

調査し、検討の対象とする構造物に不利になるように値を設定するものとする。また、引出し・横引きなどの控え索などの設計にあたっては摩擦力を期待してはならない。

摩擦係数は、摩擦面の形状、材質、粗度、潤滑材の有無、気象の状態などの諸要素により大きく異なるため、施工前に実験を行って確認することが望ましい。

摩擦力には不確定要素が多いため、検討する構造物に対して不利となるように設定しなければならない。たとえば、以下のように設定しなければならない。

- ・桁の牽引力の計算では、最大静止摩擦力を考慮する。
- ・送出し、横取り作業の逸走防止索では、摩擦力を期待しない。
- ・重力式アンカーのように摩擦力で滑動に抵抗させるときには、最小の摩擦係数を用いる。

不均等荷重 (U)

構造物や架設機材を3点以上で多点支持する場合は、各支持点の相対変位の影響を不均等荷重として考慮するものとする。不均等荷重は、各支持点の相対変位がないと仮定して算出した支持反力に適切な係数を乗じて求めることを原則とする。

(2) 作用の組合せ

次の組合せのうち、最も不利な組合せについて安全性の照査を行うことを原則とする。

$P_o+SW+H_o+T+F+U+S$

$P_o+SW+H_o+T+I+F+U+S$

$P_o+W+F+U+S$

$P_o+EQ+F+U+S$

雪荷重 (SW) について、鋼構造物架設設計指針 [土木学会,1978] では基本鉛直荷重に含まれ、風荷重および地震荷重との組合せを規定していた。しかし、時期的な要因から最大風荷重と最大雪荷重が同時に作用する可能性は一般的に低いいため、組合せ ① では雪荷重を考慮しなくてもよいものとした。また、組合せ ② についても、組合せ ① で照査水平荷重(H_o)と雪荷重を考慮していること、地震荷重と最大雪荷重が同時に作用する頻度もきわめてまれであり、通常は考慮しなくてもよいものとした。温度変化による影響 (T) は、「鋼道路橋示方書」、「鋼道路橋施工便覧」との整合性を考慮して、組合せ ③ と ④ では考慮しなくてもよいものとした。

9.3.4 本体構造物の安全性の照査

- (1) 架設時において発生する作用に対して、本体構造物の構造安全性を確保しなければならない。
- (2) 架設時の耐荷性能に対する照査は、作用効果の値が部材の耐荷力の値以下であることを確認することにより行うものとする。
- (3) 架設時の変位、変形性能に対する照査は、作用による変位、変形が所用の性能を満足することを確認することにより行うものとする。
- (4) 架設時の安定性に対する照査は、作用効果が十分安全と考えられる抵抗値を超えないことを確認することにより行う。

【解説】

架設時の種々の作用に対する構造安全性の照査は、設計編に準じて、構造物の性能が作用効果を上回ることを確認することにより行う。具体的には、構造物は、荷重の作用が増加するにつれて変形・応力が増加し、弾性状態から塑性状態へ、あるいは安定状態から不安定状態を経て、最終的には破壊へと進む。構造安全性では破壊へいたる過程における構造物の弾性、塑性、座屈、剛体安定性、構造物全体の安定性、変位・変形について照査を

行うこととなる。

構造安全性においては、耐荷性能と安定性能とを考慮する必要がある。耐荷性能を失う現象には、部材の破断、板の局部座屈、部材の座屈、構造物全体系の座屈などがある。

架設時の本体構造物について、構造安全性を照査するに際しては、照査の基本をはじめとして材料、部材、作用、構造解析などのデータについても、設計と整合していることが重要である。

本体構造物の架設時断面力は設計時点で照査し、必要に応じて架設工法の変更や、補強を行うのが望ましい。しかし、設計完了後に架設計画を変更せざるを得ない場合などもあるので、このような場合には架設計画時に本体構造物の照査を行うものとする。

照査すべき対象は本体構造の主断面に加えて、架設作業時の重要部材と架設作業中に不安定な状態となる部材についても照査しなければならない。

1) 吊金具取付け部

吊金具の取付け部の検討にあたっては、引張荷重に対して、吊金具と本体構造物との継手部および本体構造物内部の耐力について照査しなければならない。

2) 仮支点部

ベント、ステージングの受点およびジャッキアップ点などの仮支点部については、本体構造物に座屈および局部変形が生じないように照査しなければならない。

3) I形断面桁の仮置き、吊上げ

I形断面桁を仮置き、吊上げる場合は、横倒れ座屈に対して照査しなければならない。

4) 架設中にのみ圧縮力を受ける部材の照査

架設中にのみ圧縮力を受ける部材は、架設の各段階における部材力を算出し、圧縮部材として設計しなければならない。

5) 全体・横桁間の座屈の防止

架設中の構造物は、全体座屈および横桁間の座屈に対して十分に安全でなければならない。開断面箱桁あるいは横構を省略した2主桁構造など、圧縮力を受ける部分が横方向に拘束されていない細長い構造物では、全体としての横ねじれ座屈に注意しなければならない。横桁間隔を広くしたI形断面桁では、横桁間の主桁の座屈に対しても注意が必要である。

9.3.5 仮設構造物の設計

仮設構造物の設計にあたっては、次の各項目について調査、検討し、安全性を確認しなければならない。

- (1) 考慮すべき荷重の調査
- (2) 適用法規、基準の調査
- (3) 部材の腐食、変形などの有無とその程度の調査
- (4) 組立・解体の容易性
- (5) 安全設備

【解 説】

仮設構造物は、一時的構造物ではあるが施工条件などにより過酷な状態になることもあるので、設計にあたっては慎重な配慮が必要である。考慮すべき荷重は、「9.3.3 作用」に基づくものとするが、さらに「労働安全衛生規則」[労働省, 昭和47年]、「クレーン等各構造規格」[日本クレーン協会, 2001]などの準拠しなければならない法令もある。したがって、安全性の照査は、それら関連する法令の規定に従って実施しなければならない。

再使用する仮設構造物（たとえばベント、鉄塔など）およびワイヤなどについては、腐食、摩耗、変形などの程度の調査も重要な事項である。

なお、仮設構造物は架設完了後には撤去が必要となることから、組立だけでなく撤去方法も事前に考慮し、構造に反映しなければならない。また、仮設構造物の組立・架設・解体に際して、安全かつ効率的に作業できるような安全設備を設計に反映しておく必要がある。

9.4 架設作業と施工管理

- (1) 完成形の構造物が、設計で要求された性能を満足するように施工しなければならない。
- (2) 完成形の構造物の性能は、適切な方法によって確認しなければならない。

【解説】

架設完了後の構造物に求められる性能には、設計から製作の段階において決まる部分と、架設段階の施工で決まる部分がある。構造物の品質は、その大半が設計・製作の段階で決定される。架設段階で決まる品質は、鋼部材の組立工程の適切さや現場継手の品質である。したがって、完成後の構造物が設計時の要求性能を満足するには、工場製作された部材が、輸送から架設完了までその品質レベルが保持され、かつ、適正な工法によって正しい手順で組立てられることが求められる。そして、その部材が設計での要求性能を満足するよう連結されることが必要である。また、合成構造においては、鋼部材に対する要求性能に加えて、コンクリートの品質およびコンクリートと鋼部材が合成される個所の性能が要求水準を満足する必要がある。

架設完了後に、完成形の構造物が要求性能を満足していることを検証する必要がある。その方法としては、直接、構造物を計測・試験する方法と部材製作過程および架設仮定での品質記録やプロセス管理の記録によって検証するものがある。性能項目によってどちらかの方法を選択して適用することになる。構造物を直接計測して確認するのは、主に完成後の出来形寸法であり、品質記録やプロセス管理によるのは、溶接や塗装に関わる性能項目の一部である。

9.4.1 部材の輸送と現場での保管

- (1) 部材の輸送中および保管中に、部材を損傷してはならない。また、架設作業においても、慎重に取扱い部材を損傷させてはならない。
- (2) 輸送、架設時の腐食環境が完成後とは異なる場合には、架設中の部材について別途、防食の配慮をしなければならない。
- (3) 部材架設後に行う防食施工は、一般部と同様に設計で要求される性能を満足しなければならない。

【解説】

部材の輸送に際しては、積込みから荷降ろし完了まで、部材本体はもとより塗膜も損傷させてはならない。また、架設するまで部材を保管する必要がある場合には、部材が損傷を受けることがないように、保管場所や保管方法に十分に配慮する。架設作業中においても、部材の取扱いは慎重に行い、部材を損傷させてはならない。

構造物が保有すべき品質が確保されるような部材の発送、保管、取扱い方法を施工計画書に含める必要がある。また、すべての部材は輸送中の損傷から保護しなければならない。特に、防錆処理部分への損傷を最小限にするための処置を施さなければならない。部材の輸送に先立って、

輸送経路と輸送方法（陸上、海上）

部材の積荷形状と固定方法および仮置き

部材の積み降ろし方法

部材の現場保管方法

について計画し、計画にそって適切に実施されていることを確認する。

輸送中は、自由端の固定や永久ひずみの防止を行うとともに、機械加工面の保護に注意する。また、部材は適切に支持する。小さな板およびボルト、ナット、ワッシャ、ねじなどの小物は、原則として適切に梱包し、内容を明示する。

海上輸送を行う場合には塩分が付着し、現場塗装などの品質に影響を与えることがあるので、事前に養生をするか、輸送後に水洗いすることも考慮しておく必要がある。さらに、海上輸送を行う場合や、完成後は構造物の内側になる部材が架設途中で直接日光と降雨の影響を受ける場合には、品質の低下を防ぐ方策を講じなければならない。また、連結部のように架設後に防食施工する部位に対しては、一般部とは異なる条件を考慮して、一般部と同等の防食性能が確保できるようにしなければならない。

架設現場は、雨、風などの自然環境による施工条件の制約や交通規制、施工場所の確保などの規制を受けるため、要求される品質を確保するには厳しい環境にある。一方、工場では一定条件を確保しての施工が容易であるため、工場での施工範囲を広くし、現場での施工範囲を極力少なくすることが望ましい。

現場での防食処理方法は、構造物の種類や部材、部位によりさまざまな基準があるため、構造物の種類などに適した基準を参考にするのがよい。

9.4.2 架設現場での部材組立

- (1) 部材は所定の位置に正確に組立てなければならない。
- (2) すべての部材は組立符号などにより、部材相互の組合せが正しいことを確認して組立てなければならない。
- (3) 部材を連結する場合には、部材相互の結合形状が正しいことを確認しなければならない。
- (4) 現場溶接や高力ボルトにて連結する場合は、連結部の耐荷力が十分に確保できることを施工前に確認しなければならない。
- (5) 設計時に計画した架設工法と部材の組立順序にしたがって、施工しなければならない。
- (6) 現場継手の形式・方法・手順などを設計で検討したもから変更せざるをえない場合には、あらかじめ継手の照査を行い、要求性能を満足することを確認しなければならない。

【解説】

部材相互の形状が精度よく架設されても、全体の高さ、前後・左右の位置の正確さが満足されなければ所定の性能は得られない。また全ての部材は定められた部材相互の組合せで配置されなければならない。そのために、あらかじめ架設図を作成し、全ての部材の配置を明らかにしておくとともに、その架設図に従って、個々の部材に部材マークを付けておくことが有効である。

製作された構造物の各部材を誤りなく架設するためには、マ・ク図(組立図)に従った識別マ・クが必要となるので、発送前には確実に識別マ・クを各部材に付する必要がある。また、識別マ・クおよび補助マ・クによって部材の性能を低下させるような傷つけてはならない。

架設の途中段階では必要に応じて部材組立時に調整作業を行うことがあるが、これは完成時の要求性能を確保する上で重要な作業となるので、慎重に行わなければならない。また、部材間の本接合は、仮接合状態で、設計で要求する値を越える構造物のたわみや変形が生じていないことを水平度や鉛直度により確認した上で、行わな

なければならない。

現場継手部で円滑な応力伝達が可能なように、接合される部材の間隔や上下、左右の位置が適切に保たれなければならない。また、連結部の耐荷力が設計で定めたレベルを確保するため、継手部の部材端が適切な状態にある必要がある。現場溶接では、母材の表面状態や、開先精度を良好に保持しなければならない。

現場では、各種の制約条件を受ける場合があるため、設計段階においてあらかじめ施工条件、施工環境を確認しておく必要がある。また、当初設計されていた継手形式が現場条件などの変更で採用できなくなった場合は、改めて最適となる継手形式の選定を行う必要がある。このような場合には、継手断面が変更されることもあるので、新しく選定された継手の照査を行う必要がある。

連結部の耐荷力は現場継手の施工に大きく左右されるので、施工前に十分な検討・準備を実施することが重要である。現場溶接の施工は第4章を、高力ボルト接合の施工は第5章を参照する。

設計において、プレストレスなどの導入を架設時に考慮している場合には、適切な方法により導入力が設計値を満足していることを適切な方法で確かめなければならない。

9.4.3 架設完了後の組立精度

架設完了後の構造物は、設計にて定められた要求性能を満足する精度で組立てなければならない。

【解 説】

構造物の多くは、架設完了後に形状や位置を修正するのが困難な場合が多いため、設計での要求性能を満足するためには、架設段階ごとに精度を確認し、不具合があれば、その時点で修正するようにしなければならない。

構造物は、その形式や目的などにより要求する組立精度が異なるため、構造物の形式や目的などに適した基準により組立精度を確認し施工する必要がある。

構造物の組立精度の大半は組立前の部材精度に左右される。工場の施工段階で全ての部材は精度確認がなされているため、架設完了後の組立精度は、おのずからその精度が保証される部分が多い。しかし、一部の構造寸法については、現場の架設工程の中で精度を管理すべき項目もある。道路橋示方書では、架設完了後の組立精度を3項目について定めている。支間長は $\pm(20+L/5)$ mm、そりは、 $\pm(25+L/2)$ mm、桁の通りは $\pm(10+2L/5)$ mmとなっている。その他、国土交通省では、桁の通りが $\pm(10+L/5)$ mmであり、支間長とそりは道路橋示方書と同じである。旧道路公団では、架設キャンパーを $+25 \sim -50$ mm、支障位置のずれを $\pm(10+L/5)$ mmとしている。

組立精度の計測は、一般に次のような方法で実施される。

- ・ 支間長の計測は、1測点から発射した光を他の測点に置いた反射鏡で反射させ、元の点まで光が帰ってくる時間によって2点間の距離を計測する光波測距儀により行われることが多い、支間30m程度までは、金属性巻尺(JIS1級)を使用することもある。
- ・ そりの計測は、レベル(水準儀)スタッフ(標尺)により、計画で示された各点の座標点を計測する。
- ・ 桁の通りは、トランシットにより桁のウェブ芯または主構芯などの通りを確認する。

9.4.4 コンクリートの施工

- (1) コンクリート材料は、強度、耐久性、水密性、作業性が設計で定めた要求品質を満足するように管理しなければならない。
- (2) コンクリート部の施工に際しては、コンクリートの運搬、打設、養生を、事前に計画し打設時の気象条件を考慮して、適切に行わなければならない。

【解説】

コンクリートの施工は、土木学会「コンクリート標準示方書」、日本道路協会「道路橋示方書 コンクリート橋」などを参照するとよい。

9.4.5 架設作業

架設作業は構造形式、現場の条件、環境、交通路、架設時期および安全性を確保しなければならない。

【解説】

(1) 架設作業上の留意点

架設工事においては、架設計画における設計条件が、実際の架設条件、自然条件に適合していることを確認する。また、架設工事進行中においても必要に応じて段階ごとに安全性を確認する必要がある。

本体構造物は、架設工法を考慮して設計されるのが原則である。しかし、場合によっては本体構造物の設計時に考慮されたものと異なる架設工法を採用しなければならないこともあるので、この場合には、本体構造物の設計照査、補強を含め十分な検討が必要である。

架設工法の特徴を考慮して、本体構造物の架設時応力、仮設構造物への作用力、変位、支承の位置、上げ越し量および仮設構造物、架設機材の強度や能力などについて十分に検討し、架設の進行中においても、必要に応じて段階ごとに各点の応力、変形などを確認したうえで、施工管理を行う必要がある。

(2) 架設作業中の仮置き

形断面部材を単体で仮置きする場合、風などの横荷重による転倒を防止するため、フレームなどで固定する必要がある。また、形断面部材は、面外曲げ剛度、ねじり剛度が低いいため、仮置き時の横倒れ座屈にも十分注意する必要がある。

(3) 送出し作業

構造物あるいは部材を縦方向に移動する場合には、送出し部材と架設機材による全荷重が、台車および送出し装置などに作用するので、荷重集中点での部材が座屈しないように検討しなければならない。また、送出し作業の進行にともない、支持状態が変化するので主要な段階で安全を確認する。

送出し工法による架設時の安全性照査については、架設計画書の中に示された段階図に基づいて架設計算を行い、構造物の耐力を照査する(図解9.4.1)。架設計算における安全性照査で所定の安全が得られない場合は、事前にその箇所を補強するなどの対策を講ずる必要がある。送出し架設計算の照査事項として一般に次のようなものが必要とされている。

- 1) 手延機が前方の橋脚(支点)に到達する直前の送出し桁全体の転倒に対する安定性の確認
- 2) 架設中の最大反力値に対する腹板の局部座屈の照査
- 3) 架設中のみに圧縮力を受けるフランジの照査
- 4) 補強が必要な箇所の補強方法の検討
- 5) 手延機先端のたわみ量

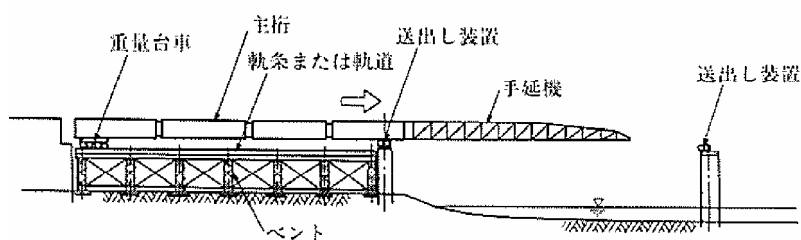


図-解 9.4.1 送出し作業 (例)

送出し架設では部材が張り出されるので、架設部材が逸走しないように、通常逸走防止索が使用される。送出し作業の進行にともない逸走防止索の盛替えが必要となる場合には、台車に車止めを設置するなどの盛替え作業中の逸走防止対策を行うことが望ましい。

(4) 横取り作業

構造物あるいは部材を横方向に移動する場合には、横取り作業中の両端の移動量および移動速度が計画値に適合しているかどうかを施工段階ごとに確認し、両端の作業の連携を緊密に行う。また、横取り作業にあたっては、転倒防止に注意するとともに、必要に応じて逸走防止装置を設置する。

構造物の両端での計画移動量が異なる横取り作業では、両端での作業誤差が生じやすいため、施工段階ごとの許容誤差をあらかじめ求めるなどして十分な管理を行う必要がある。

横取り作業を行う構造物によっては、横方向の剛性の小さなもの、あるいは安定に欠ける場合もあり、横移動にあたっては、転倒あるいは横倒れ座屈をしないように、構造物を補強して作業を行う必要がある。

図-解 9.4.2 に横取り作業を示す。

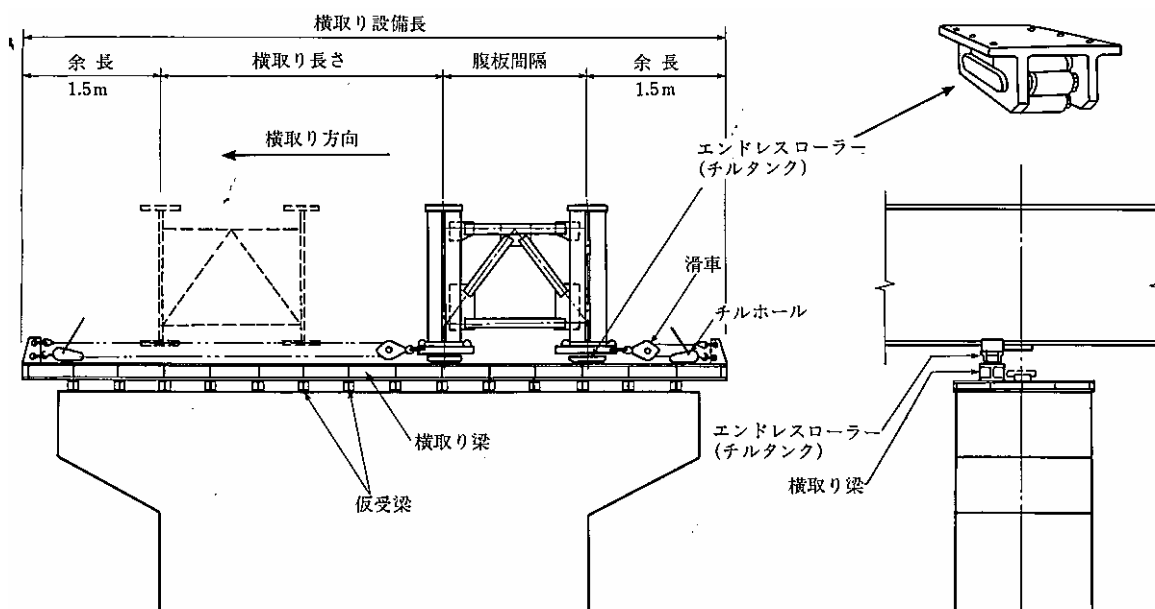


図-解 9.4.2 横取り作業

(5) こう上・こう下作業

ジャッキによる部材のこう上、こう下作業においては、不均等な荷重の作用、ストロークの不均等などにより、支持する部材の転倒や本体構造物の局部座屈および局部変形を起こすことがあるので、十分な安全を施す必要がある。ジャッキの使用にあたっては、ジャッキの底面反力を受ける確実な耐力をもった平坦な基盤が必要である。受台は水平に据え付け、鉛直力、横力に抵抗できるものとする。十分な耐力が期待できない場合には、盤木、鋼板を敷いて底面応力の分散を図るとよい。架設時に使用するジャッキの荷重能力は、想定される荷重に対してある程度の余裕が必要である。特に多点でジャッキを同時に昇降する場合は、ジャッキ作業の不ぞろいにより、各ジャッキに均等な反力が作用しないことが多い。そのため、計画鉛直荷重の1.5倍から2倍の能力のジャッキを用いるのがよい。

(6) 張出し作業

張出し架設の架設作業前に各部材の架設時の安全性を、各段階でのたわみなどを検討することにより、確認しなければならない。架設中には、各段階のたわみおよび本体構造物の中心線のずれを計測、照合して、安全に架設作業を進める必要がある。

張出し架設は、架設する部材またはブロックを順次継ぎ足していく架設方法であり、誤差が累積される可能性が高い。張出し量が多い場合には、自重のほか先端部のクレーン重量が加わる、架設作業中の風荷重の影響も受ける、などにより張出し基部に大きな力が生じる。また、張出し架設時には、完成構造物に生じる応力と相反する応力が生ずることも少なくないため、これに対応する補強を行う必要がある場合もある。多点支持の構造物の反力は不均等になる恐れがあり、張出し作業中の支点反力においても不均等荷重を考慮すべきである。

(7) 吊上げ吊下げ作業

構造物あるいは部材を吊上げまたは吊下げる場合には、吊金具に過大な力や変形が生じないように配慮して、適切な吊り形式により作業を行う。

部材が 形断面桁のように面外曲げ剛度、ねじり剛度が低い部材を単体で吊上げ吊下げを行う場合、横倒れ座屈、転倒に対する安全性を確保しなければならない。状況によっては部材を箱状に組んで架設するのがよい。

9.4.6 定着部コンクリートの施工

定着部コンクリートの施工は、構造物からの荷重を円滑にコンクリート構造に伝え、構造物全体としての機能を発揮するように、また安全性を確保するように確実に行わなければならない。

【解 説】

ここでいう定着とは、鋼構造部材がコンクリート構造に接合、固定されることをいう。一般には鋼製柱と基礎との接合部を指すことが多いが、そのほかに鉄骨梁をコンクリート柱または梁などに固定する場合、あるいは橋梁のように上部構造と下部構造との接点となる支承部なども含まれる。いうまでもなく、鋼製柱と基礎との接合部や支承部は、鋼構造物とコンクリート構造物との接合部であり、柱や桁からの力を基礎を介して地盤に伝えるという構造上重要な役割を有している。

(1) 定着部コンクリート天端の調整

ベースプレートとコンクリート天端とのあきが30mm未満の場合には、図-解9.4.3に示すようにコンクリートを取り除き、所定の形状寸法の隙間を確保する必要がある。

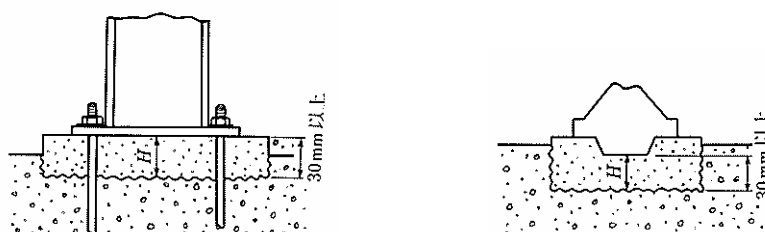


図-解9.4.3 モルタル充填のためのコンクリート天端とベースプレートの間隔の確保

鋼構造部材を所定の位置・高さに固定した後にベースプレート下面にモルタルを充てんする、いわゆるあと詰工法では、非常に作業しにくい狭い部分にモルタルを充填することになるため、採用する充てん工法あるいはベースプレートの大きさなどに関連して50mm以上のあきを必要とすることもある。

(2) ベースプレートとモルタル

- 1) ベースプレートとその下面のモルタルは密着させる。
- 2) モルタルの強度は、これに接するコンクリートと同等以上のものを用い、その厚さは30mm以上とし、これに接するコンクリートと十分に一体となるよう施工する。
- 3) あらかじめならしモルタルを設けるときは金ごて仕上げとし、ベースプレートの接触面は平滑に仕上げ、構造物の荷重に耐える必要がある。
- 4) 鋼構造部材を架設または据え付けた後、モルタルをベースプレート下面に充填するときは、原則として無収縮モルタルを使用する。

(3) 無収縮モルタルの施工

無収縮モルタルは、所要の強度、膨張率、耐久性をもち、品質のばらつきの少ないものを用いる。施工については十分な計画をたて、所要の品質のモルタルが得られるよう入念に施工する必要がある。

無収縮モルタルは、所要のコンシステンシーをもち、無収縮でブリージングが少なく、かつ周辺コンクリートと同等もしくは、それ以上の品質を有する必要がある。無収縮モルタルは、セメントモルタルにある種の混和材を添加したもので、これによって非収縮性、流動性、早強性を改良したものである。なお、無収縮モルタルは、誤配合により硬化が不完全となることがないように、プレミックス製品を使用することが望ましい。

1) 無収縮モルタルの施工管理としては、

- a) 品質試験として
 - ・コンシステンシー試験
 - ・圧縮強度試験
 - ・ブリージング率
 - ・膨張率試験
- b) 注入管理として
 - ・注入モルタル量の測定
 - ・練上りモルタル温度の測定
 - ・注入状況の確認

などがある。

標準的な品質規格値は表-解9.4.1の通りである〔鋼構造架設設計施工指針，土木学会，2001〕。

表-解 9.4.1 プレミックス無収縮モルタルの品質規格値

項目	規格値	備考
コンシステンシー (流下時間)	鉄粉質系 : 10±3秒 セメント系 : 8±2秒	Jロート試験
ブリージング	鉄粉質系 : 2%以下 セメント系 : 1%以下	JIS A 1123
凝結時間	始発 : 1時間以上 (500psi) 終発 : 10時間以内 (4000psi)	ASTM C 403
膨張収縮率	材齢7日で収縮なし	米国工兵隊規格 CRDC 589 改良式
圧縮強度	材齢3日 : 25N/mm ² 以上 材齢28日 : 45N/mm ² 以上	供試体 径5cm × 高さ10cm JIS A 1108

(4) アンカーブロックの施工

架設用アンカーブロックの施工については、以下に示す事柄についての注意が必要である。

- 1) アンカーブロックの施工箇所における地盤の性状を調査し、設計時に検討した滑動などに対する抵抗が十分であることを確認する。
- 2) 床掘時に地下水位を確認する。
- 3) 岩盤部分に定着させる場合には、コンクリートの打込み前に浮石除去、清掃を十分行う。
- 4) アンカーフレームは、計画どおり、方向、角度などを正確に据え付ける。
- 5) アンカーブロックのコンクリートを打ち込む際、アンカーフレーム下側などにコンクリートが回り込むよう、入念な締固めを行う。

9.4.7 グラウンドアンカーの施工

架設用グラウンドアンカーの施工にあたっては、設計、地盤条件、環境、工期等を検討し、アンカーの耐力に関して十分な安全性を確保しなければならない。

【解説】

グラウンドアンカーの耐力は、施工の良否によって著しく左右されるので、地盤や地下水の状態に対応して適切な施工方法を選定し、地盤工学会「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説」[地盤工学会, 2000]などに準拠して、慎重に施工する必要がある。施工計画を作成するためには、次のような項目を確認する。

- 現場の地形
- 地盤の性状
- 地下水の状態
- 埋設物、地下障害物の状態
- 隣接構造物の状態
- アンカーの設計諸元
- その他の施工条件

9.4.8 施工管理

- (1) 架設の安全、品質、工期および経済性を確保するように施工管理をしなければならない。
- (2) 架設に関わる諸条件を考慮して、目的に適合した施工計画をたて、その計画に基づいて工事が実施できるように管理しなければならない。
- (3) 実施の過程で計画との相違が生じた場合には、その原因を調査して計画にあわせるよう調整する、あるいは計画を修正して工事を円滑に実施できるようにしなければならない。

【解 説】

(1) 仮設構造物の検査と記録

仮設構造物は、その使用目的、重要度および使用期間などを考慮し、以下に示す各項について必要に応じて検査（点検）を行い、その結果を記録し、保存する必要がある。

地耐力

材料

部材とその付属品

溶接部

継手部

組立精度

仮設構造物は一時的に使用するものという考えから事前の検査、点検が軽視されやすい。しかし、その使用頻度や目的・構造物の重要度などを考慮し、適切な検査・点検を行い、記録を保存することは重要である。また、使用が長期にわたる場合は定期的（例えば、月1回程度）に必要な事項について点検する必要がある。

仮設構造物のうち「クレーン」や「足場」などについては、「クレーン等安全規則」および「労働安全衛生規則」に始業、定期および地震、台風後における各種点検と記録の保存が義務づけられている。ここでいう検査とは、事故防止と本体構造物の品質確保を目的として実施するもので、検査項目は仮設構造物の目的とその重要度に応じて上記各項目より適宜選定するものとする。また、検査の範囲・方法についても同様とする。

(2) 本体構造物の組立検査と記録

本体構造物の組立検査は、その構造形式、規模、架設工法などの種類により以下に示す段階ごとに実施し、その結果を記録・保存する必要がある。

地組またはブロック組完了時

現場継手施工の前と後

ベントなど架設時の支持機構撤去後

本体構造物の検査は、その構造の特性などを考慮し、施工各段階に実施することが品質確保上重要である。その記録は、将来の維持管理を行ううえで有益であるほか、類似構造物の計画にも貴重な資料となりうる。ここでいう本体構造物は、工場製作時に仮組立検査あるいは部材検査などを実施した構造物を対象としており、架設された各部材の連結長や間隔、幅などの寸法検査は特に必要がある場合を除き、改めて実施する必要はない。したがって、架設工事における組立検査は、水準測量、曲り、倒れなどの検査と、その他、構造形式や架設工法から特に検査を必要とする事項などを主体として行う。

(3) 現場継手の検査と記録

現場継手の検査は、次の各項について実施し、その結果を記録し、保存する必要がある。

1) 高力ボルト継手

高力ボルト摩擦接合は継手材片間の「摩擦面の管理」と締付けボルトの「軸力の管理」の2点が重要な

品質管理項目である。図-解 9.4.5 に一般的な高力ボルト施工の検査フローを示す。

a) 締付け器具の検定

高力ボルトの締付け器具としては、軸力計、トルクレンチ、締付け機などがある。いずれも現場搬入直前に所要の精度が確保されていることを検査する。軸力計の検定は搬入後 3 カ月に 1 回、トルクレンチは 1 カ月に 1 回、締付け機は 3 カ月に 1 回を標準として行う。

b) 締付けボルトの軸力

締付けボルト軸力の検査は、施工法によって異なるが、ここではトルク法、ナット回転角法とトルシア形高力ボルトについての検査方法について記述する。

トルク法の場合は、トルクレンチにより抜取検査を行う方法と、記録計（トルクレコーダーなど）を用いて締付け時の出力トルクを自動的に記録に残す方法がある。

ナット回転法による場合は、締付け前にボルト全数にマーキングし、所要の回転量だけナットが回転しているか目視により検査する。

トルシア形高力ボルトの場合は、ボルト締付け後のピンテール切断を、目視により全数確認する。あわせて、ボルト回りや座金の共回りが無いかをマーキングにより検査する。締め忘れがある場合は締め付け、異常のあるボルトセット（ボルト、ナット、座金）は取り替えて締め直す。

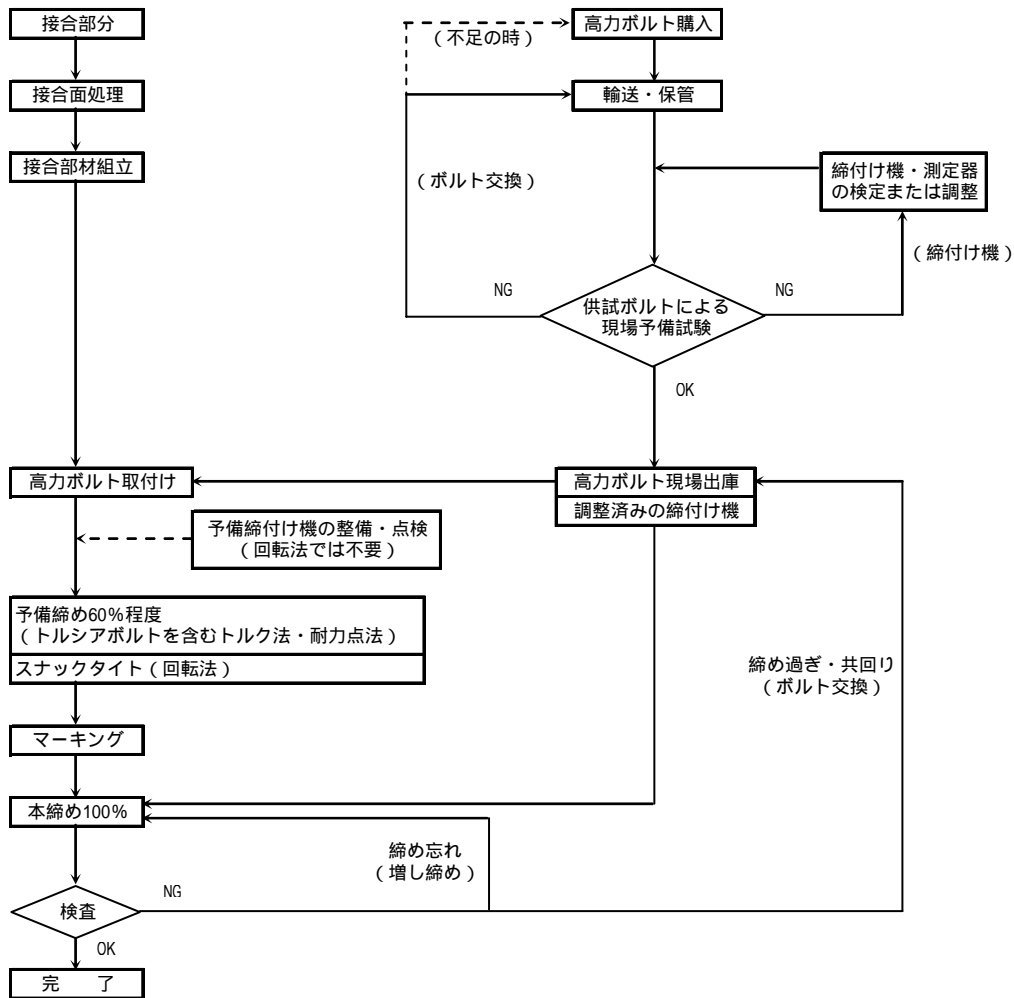


図-解 9.4.4 高力ボルト施工の検査フロー

c) ボルト締め忘れのチェック

トルク法の場合，あらかじめ定めたマークを予備締め完了後ボルト付近に記し，ボルト群本締め完了後，マークのずれを全数チェックする．

ナット回転法の場合，予備締め終了後，ボルト先端の片側，ナット，座金，部材を結ぶマーキングを実施し，締付け完了後ナットの所要の回転量を目視によりチェックし，ボルト群本締め完了後，再度全数マークのずれの有無をチェックする

2) 現場溶接継手

現場溶接継手の検査は工場溶接の場合と基本的に変わるものではないが，溶接環境・条件が工場に比べて劣る場合が多いので，一般的には工場溶接に比べて厳しい管理が必要である．

図-解 9.4.6 に現場溶接継手の一般的な検査フローを示す．

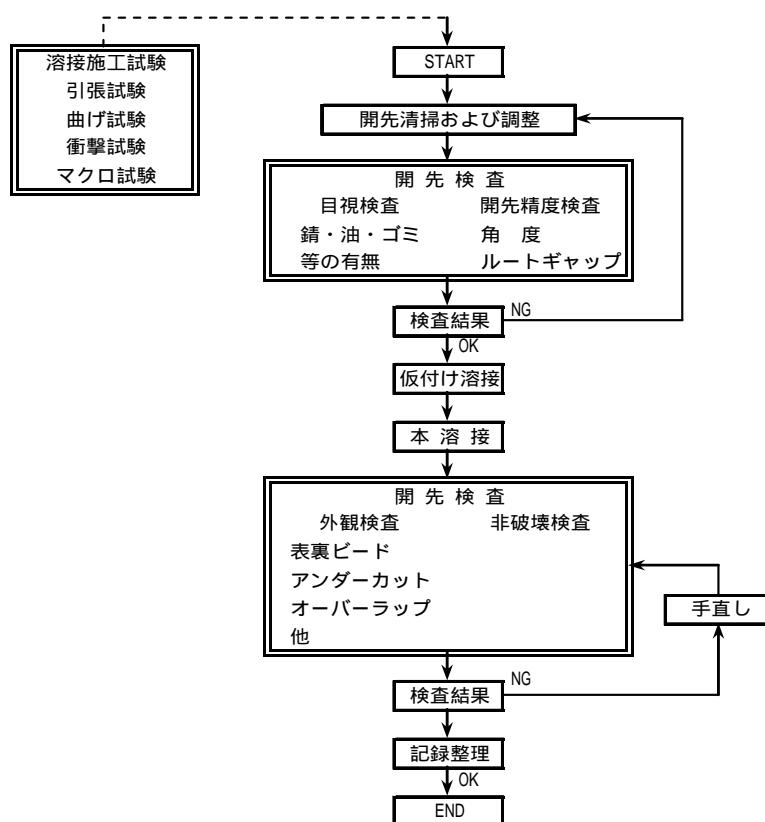


図-解 9.4.6 現場溶接継手の検査フロー

a) 溶接施工試験

現場溶接では，気象条件，溶接姿勢，開先精度などの条件が，工場の場合より劣るのが通常である．また，施工法も一般の工場溶接と異なることが多い．したがって，現場溶接にあたっては，現場の諸条件を考慮した施工試験を行うことにより，溶接性や溶接方法などの適正を事前に確認することが必要である．

b) 継手部の処理状況

溶接線近傍の黒皮，錆，塗料，油などは欠陥発生の原因となるので，十分清掃除去し，検査・確認する．

c) 材片の組合せ精度

ノギスや計測治具などを使用し、開先角度、ルート間隔などの精度検査を行う。

d) 仮付け溶接

仮付け溶接は本溶接の品質を左右するので、割れの有無やスラグの除去状況を目視により検査する。

e) 溶接材料の確認

溶接に使用する溶接棒、ワイヤ、フラックスなどの材料は、その乾燥状態を検査確認する。

f) 予熱温度

予熱を行う場合は、テンペルスティックなどにより計画どおりの温度が保たれているか、検査、確認する。

g) 溶接部の非破壊検査

一般に溶接部の非破壊検査には、放射線透過試験、浸透探傷試験、磁粉探傷試験、超音波探傷試験などがあるが、現場では放射線透過試験が広く用いられているが、最近では、超音波探傷試験が用いられることも少なくない。また、溶接部の表面割れの検査には、浸透液探傷法が取扱いが簡単で便利である。しかし、割れの開口幅が狭い場合には、検出できない場合もある。そのような恐れがある場合には、磁粉探傷法を用いるとよい。

h) 溶接ビードの外観、形状

目視あるいは計測治具などを用いて、溶接ビードの表面ピット、表面の凹凸、アンダーカット、オーバーラップなどを、また、すみ肉溶接については、サイズなどの検査を行う。

(4) その他装置の検査と記録

本体構造物に組み込む各種装置については、据付け検査、機能検査を行い、その結果を記録し、保存する必要がある。

各種装置とは支承、伸縮装置、耐震連結装置などで、これらの装置は本体構造物の付属構造物であるが、それぞれ目的に応じた役割を果たす。したがって、各装置の目的を十分に理解し、本体構造物の挙動（伸縮、移動、回転など）に対し、その目的とする機能が十分に発揮されるように検査、確認する必要がある。

1) 支承

アンカーボルトおよびセットボルトの締付け状況、モルタルなどの施工状況をハンマーなどで軽く打撃して異常の有無を確認するとともに、その他の異常がないことを目視で確認する。

据付け高さ、下沓の水平度などは、支承の構造に応じて、測量器具（レベル、水準器、すきまゲージなど）を用いて検査する。

可動支承については、上記検査のほかに移動量と適正な遊間が確保されているかなどの検査を行う。

2) 伸縮装置

支承と同様、据付け高さ、水平度などを、測量器具を用いて検査するが、特に平坦性と完成後の伸縮に対しては、適正な遊間が確保されているかなどの検査を行う。

3) 耐震連結装置、ほか

その他、各種装置についてもそれぞれの目的によって要求される性能が支障なく確実に機能することを検査、確認する。

9.4.9 施工精度

各工程における許容誤差，製作誤差等を考慮して目標とする施工精度を定めなければならない。

【解 説】

(1) 仮設構造物の製作精度

仮設構造物の製作精度は，使用材料，使用目的，重要度，使用期間，使用頻度，余剰耐力，などを考慮して定める。

仮設構造物は，その種類が多岐にわたり，重要度も異なるので，画一的な安全性の照査は困難であるが，本体構造物と同等の精度で製作することを前提に，本体構造物と同様に設計するのが標準的である。なお，余剰耐力が十分にある場合，計算や実験にて安全性が確かめられる場合，小規模で重要性の低い部材については，必ずしも本体構造物なみの精度を必要としない。

(2) 既存資材

仮設構造物として，いわゆる手持ち資材あるいはリース材などの既存資材を用いる場合は，事前に形状の検査，材質の確認などを行い，その安全性を確認する。

(3) 仮設構造物の据付け精度

仮設構造物は，使用目的と重要度に応じて，その機能および安全性を損なわない精度で据え付ける必要がある。

仮設構造物（ペント，鉄塔，吊り設備，アンカーフレーム，アンカーブロック，架設桁，手延機，など）は，その種類が多岐にわたるため，据付け精度を画一的に規定することは，困難である。したがって，ここでは，その据付け精度を仮設構造物の種類，使用目的，重要度に応じ，その機能を損なわない範囲とする。

(4) 本体構造物の据付精度

本体構造物は，その機能および安全性を損なわない程度で据え付ける必要がある。鋼を主材料とする本体構造物は橋梁，水圧鉄管，海洋構造物，塔状構造物など種類が多く，それらの据え付け精度を一律に規定することは困難である。したがって，ここでは本体構造物の据付制度を本体構造物の種類，形式，架設工法などを配慮して，その機能および安全性を損なわない範囲とする。

本体構造物の多くは，完成した状態での修正が事実上不可能に近いので，据付け段階ごとに精度を検証し不具合があれば，その時点で修正することが必要である。

9.5 環境適合性に対する要求性能と対策

(1) 架設中には，周囲の社会や環境に与える影響を最小限にとどめなければならない。

(2) 考慮する事項は，低公害性と景観性とする。

【解 説】

構造物の架設に際しては，施工性（安全性，容易性，確実性，経済性）を満足するとともに，社会・環境への影響が最少となるよう十分に配慮しなければならない。架設中には，社会・環境にさまざまな影響を与えることが考えられる。そのなかで，少なくとも周辺の住民などが聴覚的・体感的さらに視覚的にも不安感・不快感を抱かないように，架設時に発生する騒音・振動と架設時の景観性に配慮し，対策を施さなければならない。

架設が社会環境，自然環境に及ぼす影響は，架設工法や架設手順により，工期（工事時間），占有面積，交通規制，騒音，振動，日照，電波障害，大気汚染などの周辺住民への影響は異なる。社会環境，自然環境に及ぼす影響を最小限にするためには，これらの条件を計画・設計段階から考慮し，構造物の種類を選定する必要がある。

また、架設計画段階では、関連法令や法規制による基本要件が満足され、かつこれらの影響を最小限にする計画を立案し、実施しなければならない。

架設工事において近隣住民、通行者などに与える影響には次のようなものがあり、工事の計画、実施にあたっては、これらに配慮しなければならない。

- 工事中に発生する種々の騒音、振動
- 地下埋設物の損傷による社会的影響
- 道路、鉄道などの交通を規制することによる社会的影響
- 市街地や立体交差工事では、道具、部品などの落下災害
- 漁業権、水利権、耕作権などの侵害

架設現場においては各種の建設副産物が発生する。このうち、とくに建設廃棄物については、適正に処分することにより、環境に負荷を与えないようにすることが重要である。その他、架設現場付近において架設構造物本体を含む架設ヤード全般について、付近住民などが景観性について不快感を抱かないように配慮するとの考えも無視できなくなっている。具体的な例として、以下の事項があげられる。

- ・ 仮設構造物が見苦しいものにならないよう配慮しているか。
- ・ 架設現場が整理整頓されているか。
- ・ 塗装時の塗料飛沫、タレなどにより周辺を汚さないような対策を実施しているか。
- ・ 動物保護区においては、営巣などに影響を及ぼさないような、周辺の景観とマッチした覆いが設置されているか。

9.5.1 工事騒音、振動の対策

工事の計画、実施にあたっては、関係する法令等を遵守して、工事に伴う騒音、振動等を少なくするよう配慮しなければならない。

【解説】

建設工事が近隣住民、通行人などに与える影響の中で問題とされるものに工事騒音、振動がある。日本国内では、騒音規制法、振動規制法があり、騒音、振動の測定法はJISにより定められている。

わが国の騒音規制法では、指定区域内で行われる特定建設作業に対して騒音の音量、作業時間帯の基準を定め、作業実施の届出を義務づけている。指定区域内とは、住居が集合している地域で都道府県知事が指定する区域である。特定建設作業とは著しい騒音を発生する次の機械を利用する作業をいう。

杭打ち機、杭抜き機

びょう打ち機

削岩機

空気圧縮機

コンクリートプラントまたはアスファルトプラント

地方公共団体のなかには、騒音規制法の対象以外である次のような機械を使用する作業も条例で規制しているところがある。

インパクトレンチ

コンクリートカッター

ブルドーザー、ショベル系掘削機

振動ローラー、タイヤローラー、ロードローラーなどの締固め機械および振動プレート、振動ランマーな

どの転圧機

コンクリートミキサー車

電動工具を使用するはつり作業およびコンクリート仕上げ作業

建築物の解体または動力、火薬もしくは鉄球を使用する破壊作業

規制されている作業以外にも、連絡用拡声器、工用運搬トラック、圧気工法のエアーロック、スキップのウインチ、発電機、材料置場での深夜作業なども周辺地域の環境基準をこえる場合には規制されることもある。同様に、建設作業の振動は振動規制法により、数値的に規制されている。この法規では、振動の大きさ、作業時間帯、1日作業時間の制限、作業できない日が規定されている。振動の発生源の主なものは、次のとおりである。

杭打ち・杭抜き作業

鋼球を使用して建築物を破壊する作業

舗装版破砕機を使用する作業

ブレーカーを使用する作業

地盤改良作業、発破作業、重車両の運行、空気圧縮機など

日本国内における各地方自治体の条例では、騒音の発生する建設作業は、振動も発生する作業であるとして、振動の規制基準を騒音の規制基準とともに定めている。建設騒音、振動による地元住民に対する迷惑を減らすためには、次のような対策がある。

消音装置の取付け、改良などの機械の性能改善

仮囲い、覆いなどによる騒音、振動遮断物の設置

隔離、坑内の取込みなど機械設置場所の変更

作業時間帯の変更

低振動、低騒音工法などの代替工法採用

路面の維持修繕

振動、騒音計での測定管理による工法の修正、規模の縮小

構造物のプレハブ化

9.5.2 近接構造物への影響

架設工事に伴う地盤沈下により近接構造物に影響を与える恐れがある場合は、事前に十分な地質調査を行い、地盤沈下に対して適切な予防処置を講ずる。また、施工中は重要な近接構造物に対しては、変位測定を行い、異常が発生した場合はただちに適切な処置がとれる体制を整えておくのがよい。

【解説】

架設工事の実施にあたっては、近接構造物に悪影響を及ぼさないよう配慮しなければならない。日本国内の例では、市街地工事の作業が第三者に及ぼす危害および迷惑について「建設工事公衆災害防止対策要綱の解説」[建設省、平成5年]により規制されている。

排水による圧密沈下、山留め支保工の変動などによって周辺の地盤が沈下して周辺構造物に被害を及ぼすことがある。これを防止するためには、事前に十分な地質調査を行い、アンダーピニング・遮断壁などの補強工法・また遮水壁・薬液注入などの補助工法などの予防処置を講ずるとよい。また、施工中は絶えず地下水位・地盤の変動を観測し、重要な構造物については変位測定を行って、異常が発生した場合には事業者、所有者、その他の関係者に連絡し、ただちに保全上の対策がとれるよう体制を整えておく。

9.5.3 地下埋設物，高圧線の防護

地下埋設物および高圧線等に損傷を与えないよう，適切に防護しなければならない。

【解説】

ガス管，上下水道管，電力線，通信線などの地下埋設物を折損して付近に被害を及ぼさないように，工事現場内および近接した地域に埋設物がある場合には，あらかじめ，その埋設物の所有者，道路用地内の場合には道路管理者，警察署と協議する．そして，施工段階における保安上必要な処置，埋設物の防護，迂回，緊急時の通報の連絡者および方法などを定めておく．日本国内の例として，「市街地土木工事公衆災害防止対策要綱」[建設省，平成5年]では，路下掘削に伴うガス爆発事故の防止対策として以下をあげている．

試掘などによる埋設物の位置の確認

ガス管などの付近での火気の取扱いの注意

覆工板の受け桁を他の埋設物の吊り桁と兼ねることの禁止

特殊な掘削工法を用いる場合の注意

道路の埋戻しの注意

覆工板の取付け，受け桁のたわみ(1/400)の規定

地下埋設物の事故は，埋設位置の不確認を原因とするものが最も多い．地下埋設物の位置は正確にわからないことが多いので，工事着手前に管理者の立会を求め，必ず試掘などを行って正確な位置を確認しておく必要がある．なお，図面で地下埋設物の位置を確認する場合，図面どおりの場所に埋設物がないことがあるので十分注意する．

架空高圧線などに接触して付近に被害を及ぼさないように，工事現場内および近接して高圧線などがある場合には，あらかじめ電力会社などと協議し，施工段階における保安上必要な処置，高圧線などの防護，緊急時の通報の連絡者および方法などを決めておくことが必要である．

9.5.4 交通規制

交通規制にあたっては，関連法令，規則等により，各関係機関の許可を受けの必要があり，関係機関の指示に従って工事による交通の危険，渋滞を防止するための必要な処置を講じなければならない。

【解説】

交通規制に係る日本国内の法令，規則には次のようなものがある．

道路の場合

道路法

道路交通法，同施行令，同施行規則

車両制限令

道路工事における標示，施設などの設置基準

道路工事現場の保安施設，設置要領

高速道路管理者が定めた基準

鉄道(JR 在来線)の場合

安全の確保に関する規程

安全管理基準規定

運転取扱基準規定

線路閉鎖工事施行基準規定

営業線近接工事保安関係標準示方書

日本国内での関係機関とは、道路では道路管理者、所轄警察署、水上では河川・港湾管理者・海上保安庁・水上警察署など、鉄道ではJRや各私鉄などである。これらの機関と打合せを行い、届出、認可、許可などの手続きをとる。

必要な処置とは、道路を例にとれば、特に歩行者の安全な通行を確保するために、必要に応じ交通誘導員を配置し、必要な道路標識、工事標識板、保安柵、セイフティコーン、保安灯、照明、信号機などの設置である。一般には、関連法規に基づいて、工事施工の標示、保安防護設備および事故防止管理体制を整える。また、事故発生時の対策、事故の連絡先および異常時の処置、災害時警備体制を定め徹底する。

9.5.5 建設副産物対策

建設副産物発生抑制、再利用の促進、適正処分の徹底を基本とした建設副産物対策について、関係者が責務を分担し、各種の施策を総合的に推進しなければならない。

【解説】 例えば日本国内では、架設工事の建設副産物について、以下の対応が求められている。

(1) 建設副産物への対応

「廃棄物の処理および清掃に関する法律」[日本国法律昭和45年]の第1条には、『この法律は、廃棄物の排出を抑制し、および廃棄物の適正な分別、保管、収集、運搬、再生、処分などの処理をし、ならびに生活環境を清潔にすることにより、生活環境の保全および公衆衛生の向上を図ることを目的とする』と定めている。

建設副産物には、再生資源となりうるものと、廃棄物処理法により規定される建設廃棄物とがあり、特に後者に対しては適正な取扱いが重要とされる。

(2) 産業廃棄物の処理方法

1) 一般廃棄物

当該区域を管理する市町村長の許可を受けた収集、運搬および処分を行うことのできる処理業者に委託すること。一般廃棄物ではマニフェスト（廃棄物管理票）の制度は適用されない。

2) 産業廃棄物

a) 自己処理責任の原則

適正処理

事業者は、その事業活動に伴って生じた廃棄物を自らの責任で、それぞれの処理基準に従って適正に処理しなければならない。「自らの責任で処理する」には、必要な対価を支払って処理業者に処理を委託することを含む。

工事における排出事業者

工事においては、元請け業者が廃棄物の排出事業者となる。したがって元請け業者の責任において適正に処理しなければならない。

b) 元請け業者の責任と役割

仕様書などに廃棄物の処理方法が記載されていない場合は、その方法を発注者と協議して定める。

発注者に建設廃棄物処理計画書を記載した施工計画書を提出し、承認を受ける。

廃棄物の取扱い規則を作り、教育、啓発などにより従業員、取引業者などに周知徹底する。

廃棄物の取扱いを取引業者任せにしない。

廃棄物の処理を処理業者に委託する場合、許可書などの書類の提示を求め、委託内容と許可内容の

整合について確認を行うとともに、委託先の廃棄物関係施設の能力などについて、現場立会いを行い確認した後契約する。

処理業者に委託するときは、運搬と処分のそれぞれについて委託契約を行う。

建設廃棄物の処理を委託する場合には、指示した内容を確実に実行させるよう指導、確認する。

処理業者から管理票（マニフェスト）を回収し、処理が契約内容に沿って適正に行われたかどうかを確認する。

c) 産業廃棄物の委託基準

排出事業者が、産業廃棄物の処理を他人に委託する場合は、委託する収集・運搬業者と処分業者が許可を受けている事業の範囲を確認したうえで、次の事項に留意して委託契約を行う。

処分業者の許可内容の確認

委託契約の締結

産業廃棄物管理票（マニフェスト）による処理

マニフェストとは、積荷の名称、数量、性状、発送地から到着地までの経路、取扱い上の注意事項などを記載した管理票（マニフェスト）を積荷とともに流通させる仕組みで、廃棄物の処理の流れを適正に把握して適正に処理をされたことを確認する方法である。

9.6 架設作業の安全性

- (1) 架設に際しては、作業員と作業現場の安全性を確保しなければならない。
- (2) 安全管理体制を確立して、安全推進の手法や安全設備、安全点検によって労働災害の防止に努めなければならない。

【解説】

日本国内の法令では、労働安全については、労働基準法により、労働安全衛生法の定めを遵守しなければならないとされている。また、労働安全衛生法のもと、労働安全衛生施行令が定められ、政令によって安全管理者などを設置することが義務付けられている。関連規則として、労働安全衛生規則、クレーン等安全規則、ゴンドラ安全規則などがある。

架設にあたっては労働災害の防止、第三者の生命財産および電気、ガス、水道などの公共物にかかわる事故防止のために、関係する法令、規則に従った安全管理体制を確立し、十分な安全設備、安全点検を行わなければならない。施工時の安全対策は、工事に従事している労働者の労働災害、近隣住民や交通についての公衆災害などに対するものからなり、その多くが法令、規則に定められているので、その主旨を理解して安全管理を行わなければならない。

鋼構造架設工事に関係する主要な法令、規則は次のとおりである。

(1) 労働安全衛生法

労働安全衛生法は、労働基準法と対になるものであり、労働災害の防止のための危害防止基準の確立、責任体制の明確化および自主的活動の促進の措置を講ずるなど、その防止に関する総合的、計画的な対策を推進することにより、職場における労働者の安全と健康を確保するとともに、快適な作業環境の形成を促進することを目的として制定されたものである。この法律は、原則として労働者が作業するあらゆる職場に適用され、架設工事における鋼構造物の施工にあたっては、同法および同法に基づいて制定された政・省令に定める技術基準などに違反することがないようにしなければならない。

(2) 労働安全衛生法施行令

労働安全衛生法の中で、政令にゆだねられている部分について規定したもので、安全管理者などを選任すべき事業場、作業主任者を選任すべき作業、検査、検定などについて定めている。さらに、危険な作業を必要とする機械など、就業制限にかかわる業務、製造が禁止される有害物などが掲げられている。また、別表では、危険物、放射線業務、特定化学物質、鉛業務、酸素欠乏危険場所、車両系建設機械の種類、有機溶剤の種類が定められている。

(3) 労働安全衛生規則

労働安全衛生法（以下安衛法）の5条、第10条、その他に基づいて制定された労働省令で、安衛法関係省令の中核をなす省令である。この規則は、通則、安全基準、衛生基準、特別規制の4編からなり、第1編は、総則、安全衛生管理体制、技術上の指針および望ましい作業環境の標準の公表、機械などおよび有害物に関する規制、安全衛生教育、就業制限、健康管理、免許など、安全衛生改善計画、監督など、雑則の11章に分れている。第2編は機械による危険の防止、建設機械など、型枠支保工、爆発、火災などの防止、電気による危険の防止、掘削作業などにおける危険の防止、荷役作業などにおける危険の防止、伐木作業における危険の防止、墜落、飛来、崩壊などによる危険の防止、通路、足場などの基準について規制している。第3編は有害な作業環境、保護具など、気積および換気、採光および照明、温度および湿度、休養、清潔、食堂および炊事場、救急用具について定め、第4編では特定元方事業者などおよび機械、建築物などの貸与について定めている。

(4) クレーン等安全規則

クレーン、移動式クレーン、デリック、エレベーター、建設用リフトおよび簡易リフトを使用する作業から生じる労働災害を防止するため、昭和47年に安衛法に基づき制定された規則である。この規則の構成は総則(用語の定義)、機械の製造および設置にあたっての検査・届出、安全装置、安全措置、就業制限、特別安全教育、機械の定期自主検査、機械の性能検査、機械の変更・休止・廃止にあたっての検査・届出、機械の運転者、玉掛け業務従事者に対する免許試験、技能講習について10章247条からなっている。

(5) ゴンドラ安全規則

ゴンドラを使用する作業から生ずる労働災害を防止するため昭和47年に安衛法に基づき制定された規則である。この規則の構成は総則(用語の定義)、製造および設置、使用および就業、定期自主検査等、性能検査、変更・休止・廃止等・雑則について7章37条からなっている。

9.6.1 安全管理体制

架設作業では安全管理者を選任する、また安全のための基準を設けるのがよい。各作業間の連絡および調整、作業現場の巡視、安全教育活動、設備機器の安全保持に努めなければならない。

【解説】

架設作業現場は、各種作業に従事する複数のグループが混在して仕事をしている。災害防止については各作業グループの安全衛生管理も重要であるが、現場全体についての安全衛生管理がさらに必要なこととなるので、元請負者を中心とした安全衛生管理の体制を確立して、安全衛生活動を推進していかなければならない。日本国内の法令「労働安全衛生法」に準拠した安全管理体制について以下に示す。

(1) 統括安全衛生管理体制

安全衛生法では、一定の規模以上の現場については安全衛生管理を統括し、または推進する者を選任して安全衛生管理体制を組織し、安全衛生活動を推進することを規定している。

(2) 統括安全衛生責任者

安全衛生法は、一定規模以上の現場については、統括安全衛生責任者を選任して安全衛生管理活動について統括管理をすることを規定している。法で規定している統括安全衛生責任者の職務は次のとおりである。

元方安全衛生管理者を指揮する。

関係請負人およびその労働者が法令に違反しないよう、また、違反を是正するような指導および指示を行うべき義務。

協議組織の設置および運営を行うこと。

作業間の連絡および調整を行うこと。

作業場所を巡視すること。

関係請負人が行う安全衛生教育に対して指導援助を行うこと。

仕事の工程に関する計画および作業場所における機械・設備等の配置に関する計画を作成するとともに、当該機械・設備等を使用する作業に関し、関係請負人がこの法律に基づき講ずべき処置についての指導を行うこと。

その他労働災害を防止するための必要な事項

9.6.2 安全対策

鋼構造物の架設工事を行うにあたって、その現場状況に応じて種々の安全対策を講ずるとともに、第三者に及ぼす災害と影響について配慮しなければならない。

【解 説】

一般に工事において特に注意しなければならない安全対策に下記のものがあげられる。

架設計画に際して各部分の応力計算を行い、安全を確認すること。

工事中に予想される突風、台風について安全を確認すること。

工事現場の火災に対して、可燃物の貯蔵および使用の管理を行い、火災予防に努めるとともに、消火体制、避難計画を整備しておくこと。

新工法、新機材を採用する際は、安全性について十分に検討しておくこと。

以上のほかにその現場の状況によって、必要な種々の安全対策が講じられなければならない。

第9章の参考文献

- 土木学会編（2001）：鋼構造架設設計施工指針
- 土木学会編（2007）：鋼・合成構造標準示方書（総則編・構造計画編・設計編）
- 日本道路協会（昭和60年）：鋼道路橋施工便覧
- 日本橋梁建設協会（平成19年）：わかりやすい鋼橋の架設
- 日本機械学会編（1986）：機械工学便覧(A5 流体工学)
- 日本流体力学会編（1998）：流体力学ハンドブック
- 本州四国連絡橋公団（1990）：明石海峡大橋耐風設計要領・同解説
- 本州四国連絡橋公団（1976）：耐風設計基準・同解説
- 土木学会編（2008）：鋼・合成構造標準示方書（耐震設計編）

- 日本道路協会（平成 14 年）：道路橋示方書・同解説（耐震設計編）
- 鉄道総合技術研究所編（1999）：鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計編）
- 日本道路協会（昭和 55 年）：道路橋示方書・同解説（共通編）
- 土木学会編（1978）：鋼構造架設設計施工指針
- 日本クレーン協会（2001）：クレーン等各構造規格の解説
- 労働省（昭和 47 年）：労働安全衛生規則,労働省令第 32 号
- 建設省（平成 5 年）：建設工事公衆災害防止要綱（土木工事編）,建設省経建発第 1 号
- 日本国法律（昭和 45 年）：廃棄物の処理及び清掃に関する法律,法律第 137 号