

【講義内容についての質問事項と回答】

Q1．リダンダンシーについて、もう少し詳しく教えて頂きたい。

リダンダンシー（日本語では冗長性）について明確な定義があるわけではないが、例えば、米国のAASHTO道路橋の設計基準等によれば、橋梁の主要な構成部材が破壊したとき、その部材の受け持つ荷重を他の部材が代わりに負担してくれるかどうかを指すとある。また、既設橋に対して、部材の崩壊が構造物の崩壊につながるかどうか判断する場合の助けとして3種類のリダンダンシーを挙げている。

- ・ Load Path Redundancy

交通を直接受ける床版を支えるのに必要な部材の最小数。例えば、3主桁よりも少ない橋およびトラスはNonredundantであり、フラクチャークリティカルと見なされる。

- ・ Structural Redundancy

ある部材が崩壊した後に形成されるカンチレバーによって与えられる支持点の数に関連。例えば、リダンダンシーのある構造にするには最少3径間連続とする。

- ・ Internal Redundancy

部材断面内の亀裂の進展しやすさ。例えば、ウェブ - フランジ間をリベットやボルト連結された部材はリダンダンシーがあるとする。

これらは例示ではあるが、リダンダンシーを考える上で参考になると思われる。

Q2．ピーニング、スカラップ、コア抜きについて、延命化対策としてどの程度効果があるのか。

長期的に効果があるか否かは、損傷原因、亀裂の進展性状、作用応力の大きさや方向等に依存する。元々、二次応力や溶接不良が主原因で発生しており、活荷重による応力範囲も小さく損傷も軽微な場合には、亀裂の進展抑制に効果的な場合もある。

Q3．面外ガセットの完全溶込み開先溶接した継手 ($l > 100\text{mm}$) で止端仕上げしたF等級継手について、継手端部のディテールはどのようにすれば良いのか教えて頂きたい。

溶接止端部の仕上げなどにより、止端からの亀裂に対する疲労強度が向上するに従い、ルートから亀裂が発生する可能性が増してくる。そこで、ルート部に対して完全溶込み開先溶接を行うことにより、ルートからの亀裂発生を防ぐという意図がここでいう完全溶込み開先溶接である。ディテールについては、板厚構成や脚長によって変わるものと考えられるが、実施する場合には裏はつりにより完全溶け込みとする等の配慮が必要である。参考までに関連文献を以下に示す。

- ・ 穴見，三木，谷：ハンマーピーニング及びTIG処理による溶接継手部の疲労強度向上法、土木学会論文集、Vol.647、2000.4.

- ・ 穴見，三木，山本，樋口：高強度鋼溶接継手部の疲労強度と疲労強度向上法、土木学会論文集、Vol.675、2001.4.

Q 4 . 鋼製橋脚隅角部の当て板による補強材の要求性能の決定経緯を教えてください。要求性能として、“健全性を損なわない”、“限定的な損傷にとどまる”とは、具体的にはどのような状態を指しているのか。

首都高速道路公団の事例では、補強材の要求性能に関しては、マイナー則を考慮し、疲労耐久性改善の目安として応力低減率50%と定めた。耐震性については道路橋示方書・同解説 耐震設計編に準じて定めたものであるが、特に補強材の取付けに用いる支圧ボルトに着目している。“健全性を損なわない”とは、ボルトに作用するせん断力が実験により定めた許容せん断力以内になることを意味する。L2地震動に対する照査は隅角部がクリティカルになる場合にのみ行うこととしているので具体的な実施例はないが、“限定的な損傷にとどまる”とは、ボルトが破断しないことをイメージしている。

Q 5 . 交通振動が疲労に影響する可能性があるが、どのように配慮したら良いか。

一般には、疲労照査において衝撃係数により考慮されているものと考えられる。高架橋の照明柱、標識柱等の付属物の溶接部から、車両走行時の橋本体と付属物の連成した振動に起因して、亀裂が発生する事例も報告されているが、構造ディテールに配慮する等の対策が考えられる。

Q 6 . 箱桁橋の下フランジに維持管理用として足場用吊金具を設置する例があるが、疲労強度上G等級であり、疲労設計上かなり不利となっている。実際に疲労損傷を受けた事例はあるか。また、箱桁橋の下フランジ上面の滞水防止として、水抜孔と導水板を設置しているが、その際に縦リブに切欠きを設けている。この場合も疲労強度は低いが、実際に損傷を受けた事例はあるか。

現在のところ、損傷事例は報告されていないと考えられるが、今まで発生していないから今後も発生しないという保証はない。事例の有無に係わらず、疲労強度の低い溶接継手は避け、疲労に配慮したディテールを採用する等の対処が必要である。また、設計時には考慮していなかった添加物等をやむを得ず取り付けのような場合も同様に配慮が必要である。

Q 7 . 第3夜の講義では亀裂除去のためにスカラップを設計し、そのままということであったが、疲労強度的に問題はないのか。

今回、講座で説明した事例は鋼製橋脚隅角部の疲労損傷についてである。鋼製橋脚隅角部の損傷原因の一つとして、コーナー部に溶接施工上、不完全溶け込み部が生じやすく、そこを起点として疲労き裂が生じていることが確認されている。このため、疲労損傷の補修方針の一つとして疲労損傷の原因を取り除くことが挙げられ、今回のスカラップ施工はその方針の一つとしてき裂の原因となる部位を取り除くことを目的として実施しているものである。また、講座の中で示したスカラップや大コアによるき裂除去構造に関しては、疲労試験を実施して、その疲労強度を確認するとともに、試験結果を踏まえてディテールの改善等を行っている。

Q 8 . ガセット継手のディテールについて事例を教えてください。

ガセット部には、主桁方向の力と横桁方向の力が作用している。このため、それぞれの応力性状を考えてフィレットの R を決定することが必要と考えられる。疲労設計指針での $R = 40\text{mm}$ は、主桁方向の力が主となる場合のみの継手が対象と考えられる。また、完全溶込み溶接を行う場合には、非破壊検査などから、大きな R 形状が必要になると考えられる。

Q 9 . 既設橋脚にて脆性的に破壊する寸前の疲労亀裂を発見した場合、亀裂先端にストップホールを施工しても良いか。

構造としての安全性や走行時の安全性を考え、路面の段差につながらない、崩壊しない等の緊急かつ効果的な対策を講じることがまず必要である。ストップホールについては、亀裂の発生部位、進展状況、当該亀裂への対策効果、施工性、恒久対策への影響等を勘案の上慎重に施工する必要がある。

Q10 . ストップホールを施工するときの注意点を教えてください。

ストップホール施工は基本的に応急的な対策であり、恒久的な補修ではなく、き裂長が長いものなどでは、すぐにき裂が進展するおそれがあるので注意が必要である。

円孔の応力集中は3倍である。円孔をあけた母材の疲労強度は高く、適切な条件下で施工された場合には、き裂の進展を応急的に止めることが可能となる。また、ストップホールを高力ボルト締めすることによりその効果はあがる。ただし、応力集中部位や溶接近傍等にストップホールをあけた場合、新たなき裂の発生要因になることもある。このため、ストップホールをあける際には応力性状や位置に配慮しなければならない。あけた際には円孔部分に「きず」がないように十分注意が必要である。「鋼橋の疲労」(日本道路協会、H9.5)に適用上の留意点が記述されているので参考になる。