

土木学会平成 19 年度全国大会  
研究討論会 研-02 資料

# 複合構造を生かす —許容応力度設計から性能規定化設計へ—

座 長	中島章典	宇都宮大学
話題提供者	横田 弘	(独)港湾空港技術研究所
	中村俊一	東海大学
	渡邊忠朋	北武コンサルタント(株)
	安松敏雄	西日本高速道路(株)
	上平謙二	(株)デイ・シイ

日 時	平成 19 年 9 月 12 日 (水) 13 : 00 ~ 14 : 30
場 所	広島大学 東広島キャンパス 総合科学部 L102

## 複合構造委員会

## －目次－

異種部材接合部の設計における性能規定型設計法への期待	1
中島 章典 宇都宮大学 大学院工学研究科 教授	
港湾の施設の技術上の基準にみる性能規定化の流れ	2
横田 弘 (独)港湾空港技術研究所 研究主監	
C F T 構造を生かす性能照査型設計	4
中村 俊一 東海大学 工学部土木工学科 教授	
性能照査型設計法と複合構造物	6
渡邊 忠朋 北武コンサルタント(株) 専務取締役	
高速道路における複合橋梁の現状と展望 ～性能をキーワードとして～	8
安松 敏雄 西日本高速道路(株) 技術部橋梁・IT 担当 シニアリーダー	
複合構造における設計方法の現状と性能照査方法について	10
上平 謙二 (株)デイ・シイ 参与	

# 異種部材接合部の設計における性能規定型設計法への期待

宇都宮大学 中島章典

## 1. はじめに

土木学会複合構造委員会は設立 3 年目となるが、前身の土木学会鋼コンクリート合成構造連合小委員会において 2002 年に発刊した「複合構造物の性能照査指針（案）」の内容の理解を補うものとして、2005 年に「複合構造物の性能照査例」を出版した。この照査例では、先の指針（案）の具体的な手順の理解を目的とし、対象とした構造物において、現段階で例示できる項目に焦点を絞って、合成桁、合成柱、合成版などの性能照査例を説明している。

この中では、新しい複合構造として注目されている鋼桁と鉄筋コンクリート橋脚あるいは鋼桁とプレストレストコンクリート桁の剛結構造などのいわゆる混合構造（異種部材接合部）の性能照査例も示されている。しかし、従来の許容応力度設計法に基づく照査方法を性能規定型の照査方法に置き換えた照査手法を示すに留まっており、現状では、真に合理的な性能規定型の照査方法を提示するまでには至っていない。

## 2. 異種部材接合部の設計概念

図 1 のような鋼部材とコンクリート部材が直列に接合された異種部材接合部に曲げモーメントが作用する例を考えてみる。ただし、図の接合部は概念を説明するための仮想の構造である。このような接合部では、鋼部材とコンクリート部材間で、曲げモーメントの断面力を圧縮側および引張側のずれ止めで伝達すると考えることができ、その場合、圧縮側および引張側の偶力で曲げモーメントに抵抗する。そして、偶力による軸力を、圧縮側および引張側に配置されたずれ止めで伝達すると考える。

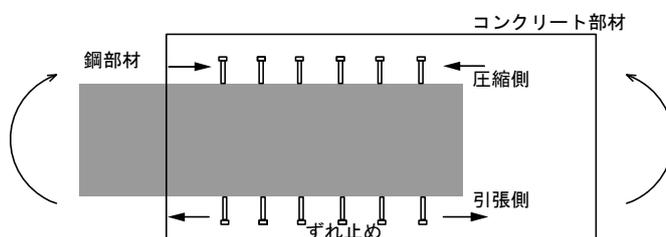


図 1 鋼部材とコンクリート部材の接合部の設計

許容応力度設計法では、設計曲げモーメントに対応した圧縮側および引張側の軸力をずれ止めの総数で除いたずれ止め 1 個あたりの伝達力がずれ止めの許容せん断力を超えないように弾性設計することになるであろう。しかし、ずれ止めに作用する伝達力は長手方向に変化するので、同構造の模型実験や詳細な数値解析を行い、ずれ止めの許容せん断力にその総数を乗じた軸力まで弾性挙動が保たれていることを確認し、設計が妥当であると判断するものと考えられる。

ところが、ずれ止め 1 個が抵抗できる強度は許容せん断力に比較して大きいことから、この接合部はかなり安全側の設計となっていることが予想される。しかし、長手方向に配置されたずれ止めでは、端部のずれ止めほどより大きなせん断力を伝達すること、また、全ずれ止めの抵抗力と変位の関係においてどの時点を終局限界状態と判断するのか、あるいは、その他の要因による伝達力分担などを明らかにする必要がある。

性能規定型設計法の観点では、これらの未知要因を 1 つずつ明らかにし、より合理的で経済的な設計が期待される。しかし、これらの未知要因はこれまで必ずしも明らかにされておらず、また、模型実験や数値解析によって確認するのも容易ではない。このような背景から、性能規定型設計法の採用に際しては考慮する点が多く、許容応力度設計法のほうが好まれることにもなる。

## 3. おわりに

性能規定型設計法では、要求性能のみを確認することを規定し、その照査方法は規定しないというのが一般的な考え方で、新しいアイデアを取り込む上では優れた設計手法で、種々の材料を組合せて構成する複合構造物にとっては真に適した設計手法であると考えられている。したがって、複合構造物にとって真に合理的な性能規定型設計法を確立するために、上述の課題が 1 つずつ解決されることが期待される。

キーワード：複合構造，異種部材接合部，性能規定型設計法，許容応力度設計法

連絡先 〒321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 TEL/FAX 028-689-6208

# 港湾の施設の技術上の基準にみる性能規定化の流れ

(独) 港湾空港技術研究所 フェロー 横田 弘

## 1. はじめに

「港湾の施設の技術上の基準(以下、「港湾基準」と略す)」は、港湾法第56条2の2に基づき、港湾の施設を建設、改良、維持する際の技術的な基準として適用されている。平成19年4月の改訂において、従来の「仕様規定型」の基準から、「性能規定型」の基準へと大きく衣替えした。性能規定型の基準への動きは、港湾基準のみならず、他の設計基準・指針類にも見られる流れである。本稿では、港湾基準を例として、性能規定化に至った経緯<sup>1)</sup>および今後の展望について概説する。

## 2. 性能規定化の背景

これまで土木構造物の設計では、安全率に基づく方法や許容応力度法が用いられてきた。これらの設計手法自体は明瞭で分かりやすいという特長を有しているが、構造物にどのような性能が保証されたかが明確ではない。安全性等の構造物が保有すべき性能に対する説明性や透明性を確保するために、構造物の目的、要求性能、性能規定を明確に示すとともに、新しい技術的知見の導入などを容易にし、設計法(照査法)の自由度を高めることで規定された性能の確保をより確実にすることが可能となる設計基準が必要になってきている。

設計基準の性能規定化は、周知のとおり、1995年1月に発足したWTO(世界貿易機関)の協定の一つとして、TBT協定(貿易の技術的障害に関する協定)が定められたことによる。設計法に関する規格及び規格の適合性評価手続きが国際貿易に不必要な障害をもたらすことのないよう、国際規格を基礎とした国内規格を策定する原則が定められている。その国際規格の代表が1998年に制定されたISO 2394<sup>2)</sup>である。そこでは、構造物の設計は性能規定化を原則とすることとされ、構造物全体や部材の設計に適用できる一般原則が規定されている。こうした国際的な流れやこれらに基づく協定の原則を我が国も遵守する必要があることから、2001年3月に閣議決定された「規制改革推進3か年計画」において、設計基準の内容が技術革新に対して柔軟に対応できるように原則としてこれをすべて性能規定化するよう検討を行うことなどが盛り込まれた。

一方、我が国の構造物の設計基準類は、土木構造物や建築構造物、あるいは鋼構造物やコンクリート構造物といった各構造物の特性に特化させて整備されてきた。しかし、上記の国際規格等においては、構造種別の違いに関係なく、共通する事項は共通的に扱い、構造種別に依存する部分はそれぞれの中で規定していくといった基本的方向性が見受けられる。そこで、国内の各設計基準間の整合性、および国際規格との整合性を確保しつつ、構造種別によらない共通的な設計の考えを示すことを目的に、「土木・建築にかかる設計の基本」<sup>3)</sup>が2002年10月に国土交通省で、また、性能規定に基づいた設計基準のあり方を示すcode PLATFORM<sup>4)</sup>が2003年3月に土木学会でまとめられた。両者により構造設計に係わる基準類の策定・改訂の基本的方向が示された。

港湾基準は、このような背景の下、「土木・建築にかかる設計の基本」およびcode PLATFORMに示された包括的なフレームにできる限り忠実に準拠してとりまとめられ、今回の改訂に至ったものである。

## 3. 港湾基準の改訂

設計基準が性能規定化されれば、保有すべき構造物の性能が明確になるとともに、それを定量的に満足させることにより、設計者の創意工夫を活かしたより低コストで高品質な構造物が提案される可能性が高まる。このメリットを最大限に生かすために、港湾基準では、図-1に示すように、港湾の施設の性能の概念を、「目的(当該施設を必要とする理由)」、「要求性能(目的を達成するために施設が保有しなければならない性能)」、性能規定「(要求性能が満たされるために必要な具体的な規定)」、「性能照査(要求性能が満足されることを照査する行為)」の4つの階層に分類・整理し、要求性能や性能規定については遵守すべき事項として省令または告示で定め、性能照査の方法は任意事項として附属資料に示されている。つまり、必要とされる性能に関してのみ港湾基準への適合を求め、施設の方法、寸法、工法、設計方法などの仕様を定めていない。

---

キーワード : 性能設計, 性能規定, ISO, 技術基準

連絡先 : 〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1 TEL 046-844-5089 FAX 046-844-0255

照査に際しては、性能規定を基に照査すべき限界状態を明確に定義して、その状態に対応する構造物の破壊モードを抽出し、その破壊モードにおいて想定される破壊が生じないことを確率論に基づいて定量的に評価する方法である信頼性設計法のうち、レベル1信頼性設計法（部分係数法）を標準的手法として位置づけている。これは、汎用性や利便性が高く、ISO 2394 や「土木・建築にかかる設計の基本」において今後の標準的な設計法としてその導入が期待されている手法である。ただし、現状では、すべての構造形式や材料で精緻な部分係数の標準値を与えるのは困難であり、過去の港湾基準における安全率相当の設定とせざるを得なかったものも残されている。これらに対しては、今後の課題として対応していかねばならない。

#### 4. 適合性の確認

性能規定化した港湾基準の適用に当たっては、設計者の判断により創意工夫を活かした新たな設計方法や特殊構造の採用等が可能となることから、設計方法や構造の妥当性を適切に評価し、必要な性能をどのように確保するかが重要な課題となる。つまり、用いられた設計の考え方や照査手法が技術基準に適合するものであることを確認するためのシステムが必要となる。このことから、2006年5月の港湾法改正において、港湾基準の適合性の確認制度が導入され、改訂港湾基準の適用開始に合わせて施行されることとなった。

港湾基準の適用対象となる施設（技術基準対象施設）の港湾基準の適合性の確認方法の流れを図-2に示す。これによると、国以外の自治体（港湾管理者）、民間会社等が構造物を設計し実施に移す場合は、国または国の登録を受けた第三者機関による適合性の確認を受ける必要がある。つまり、従来からの港湾管理者等による審査に加えて、国または技術力のある登録確認機関が適合性確認を実施することで、設計あるいは照査の結果のダブルチェックを図ることになる。しかし、小規模な施設も含めて全ての設計案件について適合性の確認を経ることは逆に設計コストの増加につながる可能性があるため、国土交通大臣が定めた設計方法が適用される場合などでは、適合性の確認を経なくてもよいとされている。

設計法の妥当性の評価を事業者の自己確認のみにゆだねることが適当でない場合に、公正・中立な第三者による検査等を義務付ける仕組みが導入されたことにより、設計の際の過誤を防止できることが期待され、より安全・安心な構造物の建設に寄与するものと思われる。

#### 5. おわりに

性能確保の観点からは、構造物の当初設計のみならず供用中の性能評価、すなわち適切な維持管理の実施が不可欠となる。港湾基準では、今回の改訂に際して特に「技術基準対象施設の維持に関し必要な事項を定める告示（平成19年国土交通省告示第364号）」を定め、当初設計と設計時に定める維持管理計画に基づく維持管理との両輪で構造物に必要な性能を確保する方法を示した。この考えは、従来の設計基準ではあまり見られなかった画期的なものであり、今後の設計基準の性能規定化の一つの方向性を示したものであると言える。

【参考文献】1) 下司弘之：港湾法の改正と技術上の基準の性能規定化の概要について，港湾，Vol.83，No.8，2006.8.  
 2) ISO 2394：General principles on reliability for structures, 1998 3) [http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha02/13/131021\\_.html](http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha02/13/131021_.html)  
 4) <http://www.jsce.or.jp/opcet/standard/>

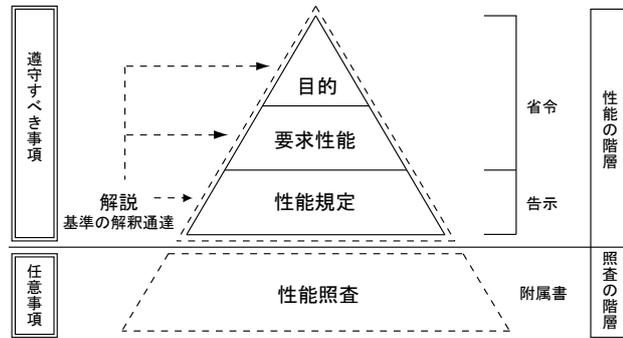


図-1 省令・告示・解説の構成

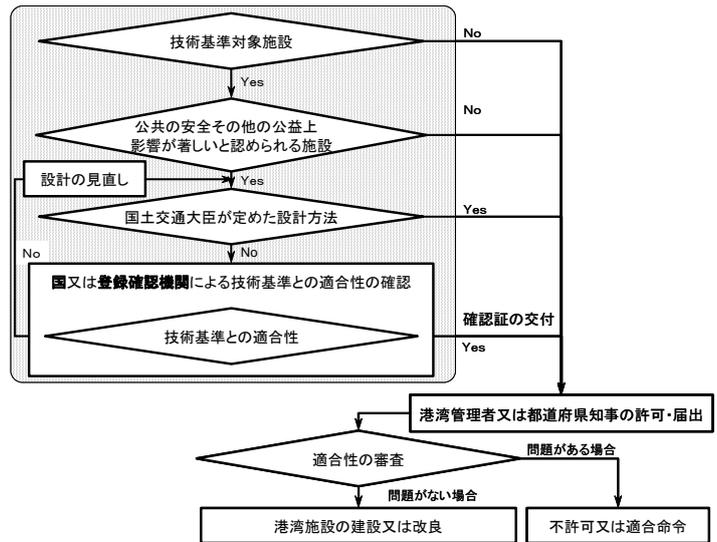


図-2 港湾基準の適合性の確認方法の流れ

## 1. はじめに

2002年に発刊された複合構造物の性能照査指針(案)は、世界初の複合構造物を対象とした性能照査型設計法を規定したものであり、実務者にも受け入れられつつある。現在、1)最新の研究成果を反映する、2)異種部材接合編を充実する、3)FEM解析の適用を図る、の視点により本指針の改訂作業を実施中である。複合構造物を設計する際には、従来の許容応力度設計法より性能照査型設計法が合理的かつ有利であると考えられる。この観点より、筆者が関与した2つの新しいCFT構造を利用した橋梁に関する設計方法について紹介する。

## 2. C F T 桁の設計手法

筆者が最初に手がけた複合橋梁は、鋼管を主桁とした鋼管橋である(図-1)。鋼管内部には、スパン位置に応じて軽量骨材コンクリートおよび気泡モルタルを充填した。図-2に、鋼I断面と鋼管断面とそれに対する曲げ応力の分布を示す。弾性応力範囲内では、最大・最小応力は鋼管断面および鋼I断面とも最外縁で生じる。したがって、鋼I断面の方が合理的である。一方、鋼管内部にコンクリートを充填し、全塑性モーメントに到達する場合には、図-3に示す応力分布を示し、コンクリート充填鋼管(CFT)も合理的であると言える。



図-1 コンクリート充填鋼管橋

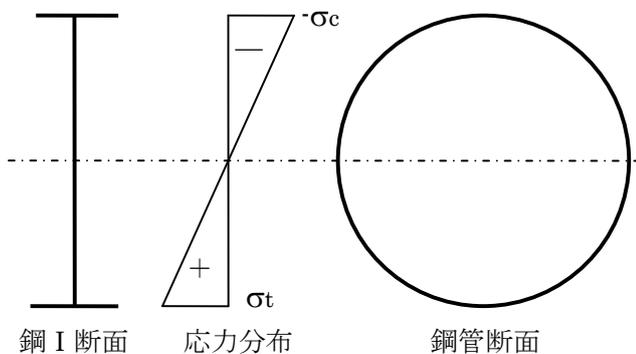


図-2 鋼I断面および鋼管断面の弾性応力分布

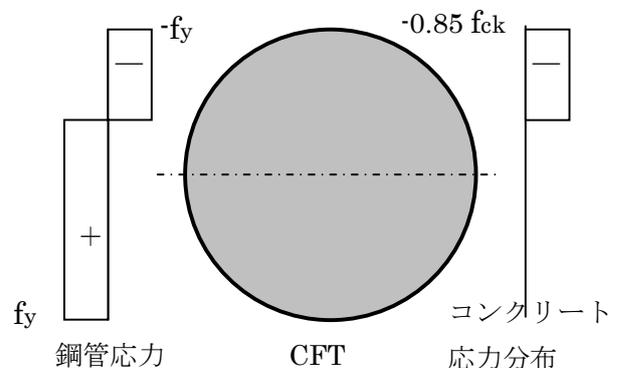


図-3 C F T 断面の全塑性時応力分布

実施した4点曲げ試験結果を図-4に示す。試験体スパンは4500mm、載荷位置は両支点から1500mmである。試験体は、鋼管(609.6mm径、7.9mm厚、降伏強度356MPa)、充填コンクリート(圧縮強度44.9MPa)である。図中、 $P_{sy}$ は鋼管が降伏した荷重、 $P_{su}$ は最大荷重、 $P_y$ はコンクリート充填鋼管が降伏した荷重、 $P_u$ は最大荷重である。これらの結果より、1)コンクリートを充填することにより最大荷重が大きくなる。2)鋼管の降伏荷重と最大荷重の比は小さいが、コンクリートを充填することにより、この比も大きくなる。すなわち、じん性が大幅に向上する。3)これらの理由は、鋼管は内側および外側に座屈変形するが、CFTでは外側のみに座屈変形する。すなわち、鋼管の局部座屈強度が向上するためである。

キーワード: CFT構造, コンクリート充填鋼I桁, 性能照査型設計, 許容応力設計

連絡先: 〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 東海大学工学部土木工学科 TEL 0463-58-1211

### 3. コンクリート充填鋼 I 桁の設計手法

次の事例は鋼 I 桁のフランジとウェブで囲まれた領域にコンクリートを充填した複合桁橋である（図-5）。連続桁の中間支点部は負曲げモーメントであり，RC床板は寄与せず，鋼桁のみの耐力となる．そこで，鋼桁内部にコンクリートを部分充填し，鋼桁の局部座屈を抑え耐力を向上させることを目的とする。

鋼桁（フランジ 200x12mm，ウェブ 900x6mm，降伏強度 372 MPa）およびこの鋼桁にコンクリート（圧縮強度 54.9 MPa）を充填した試験体を用いて，4点曲げ試験を実施した．試験体の寸法は図-5

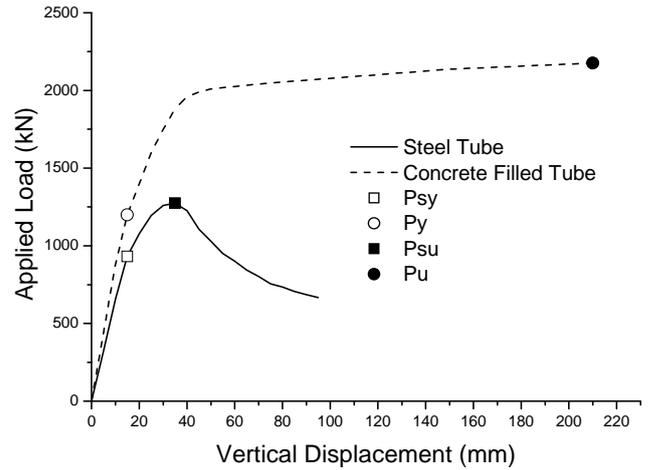


図-4 鋼管およびCFTの4点曲げ試験結果

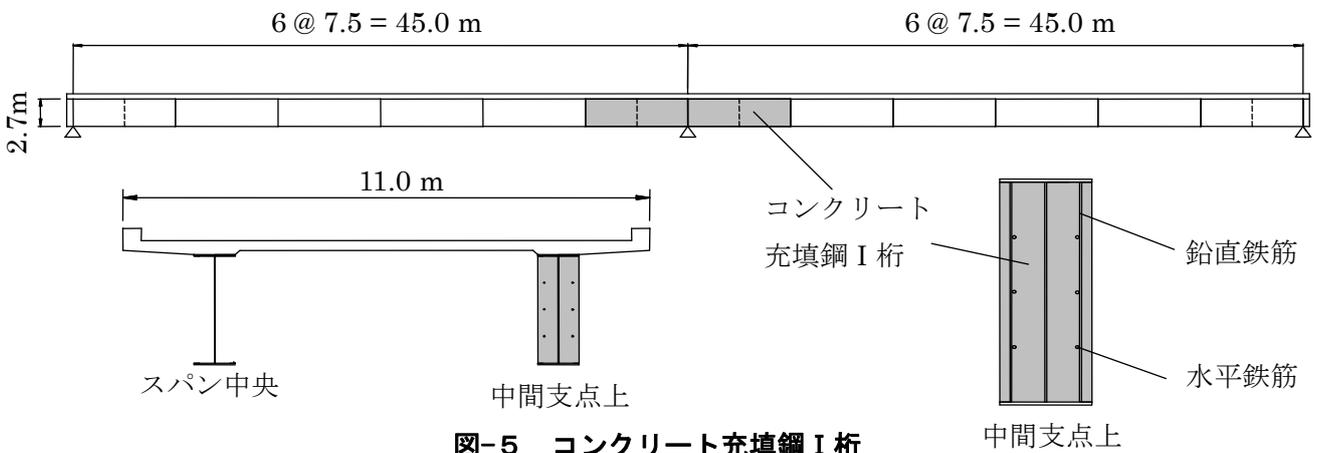


図-5 コンクリート充填鋼 I 桁

の約 1/4，スパン長は 3600mm，载荷位置は両支点より 1500mm である．試験結果を図-6 に示す．これより，1) コンクリートを充填することにより最大荷重が 2 倍以上に上昇する． 2) 鋼桁の降伏荷重と最大荷重の比は小さいが，コンクリートを充填することによりこの比は大きくなる． 3) 上記の理由は，鋼 I 桁では圧縮フランジおよびウェブが局部座屈するが，充填桁では座屈耐力が向上するためである．

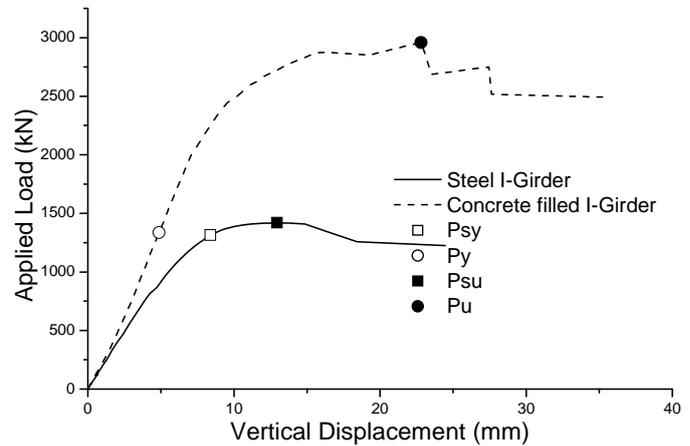


図-6 コンクリート充填/非充填鋼 I 桁の曲げ試験結果

### 4. まとめ

ここで紹介した 2 例に共通して言えることは，鋼断面では座屈が支配的であるが，コンクリートを充填することにより座屈強度が増大し，断面耐力が大幅に向上する．したがって，コンクリート充填桁を設計する場合には，降伏強度を基準にする許容応力設計法ではなく，塑性域まで考慮した最大強度を基準とする性能照査設計法が合理的かつ経済的になる。

### 参考文献

1) S.Nakamura, T.Hosaka, K.Nishiumi: Bending behavior of steel pipe girders filled with ultralight mortar, J. of Bridge Engineering, ASCE, Vol.9, No.3, pp.297-303, 2004. 2) 中村, 成田, 林: コンクリートを部分充填した鋼 I 桁に関する実験的研究, 鋼構造論文集, 第 9 巻, 第 36 号, pp.79-92, 2002.

# 性能照査型設計法と複合構造物

北武コンサルタント（株） 正会員 渡邊 忠朋

## 1. はじめに

複合構造委員会では、2002年に性能照査型設計法に基づく「複合構造物の性能照査指針（案）」を制定した。現在、土木学会や各事業体の技術基準には、性能照査型設計法の導入が進んでいる。そこで、本委員会では、新材料の適用や、近年の研究成果の取り込みを行うべく、指針案の改訂を行っている。本稿では、複合構造物の視点で性能照査型設計法の必要性、および複合構造委員会における性能照査基準の取り組みの現状を紹介する。

## 2. 性能照査型設計法

性能照査型設計法は、構造物の安全性、使用性などの要求性能を明示し、その要求性能が満足されることを照査する設計体系である。

これまでのいわゆる仕様規定型の設計法では、この要求性能が主としてコードライターなどの念頭にあり、設計を行う技術者などには直接意識されてこなかった。すなわち、構造物の要求性能が「陰」な形で仕様規定型の設計体系の中に内在していたと言える。しかしながら、社会環境の変化に伴うニーズの多様化の時を迎え、構造物の設計法においても、設計者や利用者の要求性能を「陽」な形で表わす必要性が生じてきた。その要請に応えるべく性能照査型設計法へ移行しつつある。

性能照査型設計体系の通常考えられるメリットは、構造物の要求性能が満足されることを確認することが主目的であるため、使用材料や施工方法などの仕様の縛りが不要であり、本質的な設計行為が展開される点である。設計の自由度が増し、新技術の導入や創造的な構造物の設計が可能になり、合理的な設計が実現される。

## 3. 照査法としての許容応力度設計法と限界状態設計法

性能照査型設計法では、設計で仮定した形状、寸法、材料強度、鋼材配置などの構造詳細を有する構造物あるいは構造部材が、要求性能に応じて設定された限界状態に至らないことを確認するという照査が行われる。その場合、照査方法としては、実物実験、模型実験、あるいは精度が検証された数値計算法などが用いられる（図-1参照）。

数値計算法によって照査する手法がこれまで「設計法」と呼ばれてきたものであり、「許容応力度設計法」や「限界状態設計法」等がある。

許容応力度設計法は、設計施工上の不確定要素をひとつの安全率として制限値の側に押し込んだ設計法である。古くから親しまれている簡便な手法であるが、経験的に定められた材料に対するひとつの安全率により許容応力度が定められているため、材料・解析モデル・解析法などの個々の技術開発進歩を柔軟に反映することが難しい。また、許容応力度を用いた照査では、照査の状態は、構造物の実際の載荷状態や物理的状态とかかわりなく設定され、設計者が要求した性能に対する構造物の物理的状态を、照査結果から明確に意識することが出来ないという問題点がある。

これに対して、限界状態設計法は、構造物の使用性・安全性・耐久性などの様々な状態に着目した各限界状態を設定し、その限界状態ごとに設定された制限値を満足することを照査する設計法である。「性能を明示し

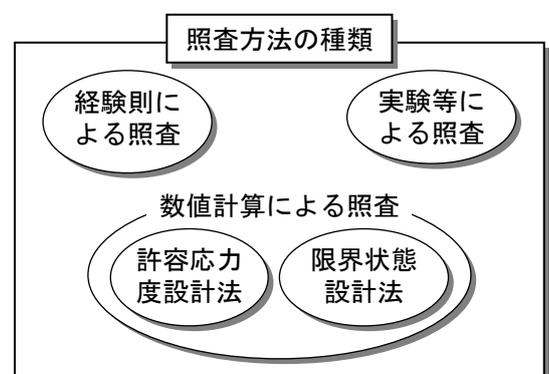


図-1 照査方法のイメージ

キーワード： 性能照査型設計法，複合構造物，限界状態設計法，許容応力度設計法

連絡先： 〒062-0020 札幌市豊平区月寒中央通7丁目 北武コンサルタント(株) TEL 011-851-3012

その性能を照査」し、かつ「新技術の開発・発展を柔軟に反映」するためには、その目的に合った照査手法を採用するのが望ましく、限界状態設計法はその照査方法として適していると考えられる。

しかし、構造物を照査しようとする場合には、要求性能だけで決定できない、または直接照査できないものがあるため、仕様規定的なものとの組合せにならざるを得ないというのが現状である。その場合、構造細目などの仕様規定は、照査の前提条件として規定されているものもあるため、単なる仕様規定ではないことを認識しておく必要がある。

#### 4. 複合構造物と性能照査

複合構造物は、種々の材料から構成される部材による構造体である。構造物は、要求性能に最も優位な構造材料等で構成される。複合構造物の設計では、構造物の要求性能を満足すべく、構造材料を適材適所の構造要素に使用して構造物を構築するという設計の原点の概念が最も重要であり、個々の構造要素の最適化が構造物の最適化と等しくならないことも十分に起こりうる。そのため、一種類の構造材料で構造物を構成することと似て異なるコンセプトが重要となる。性能規定化の流れにおいて、複合構造物は、多種の構造材料を使用するため、構造材料に根ざした要求を構造物の性能として規定することは、必然的に困難であり、かつ弊害を生む。それ故、複合構造物の設計は、構造物側からの視点で考えることが必須である。

複合構造物の設計の自由度を拡大するためには、有限要素法等の数値解析の照査技術の進歩が不可欠である。照査技術が進歩すれば、コンクリートや鉄の合成効果を基本とした照査のみならず、合成効果を自在に設定して合理的な設計を行うことも可能となり、これらの技術は新材料の適用の拡大へも繋がる。

また、設計解を選択する上での工学的な意思決定指標を、初期コストのみではなく、構造物の費用損失等の指標を用いる体系とすること等も課題である。

このような課題は、複合構造物のみに課せられた課題ではないが、複合構造物でより顕著となる課題であり、複合構造物への取り組みが構造設計技術の進歩へ直結していると言える。

#### 5. 複合構造物の性能照査指針（案）の改訂（複合構造物標準示方書（案））

前述の複合構造の課題に対応すべく、現在改訂している複合構造物の性能照査指針（案）（（仮）複合構造物標準示方書）の基本構成、目次案を図-2に示す。なお、改訂作業は、平成20年度の発刊を目標に行っている。

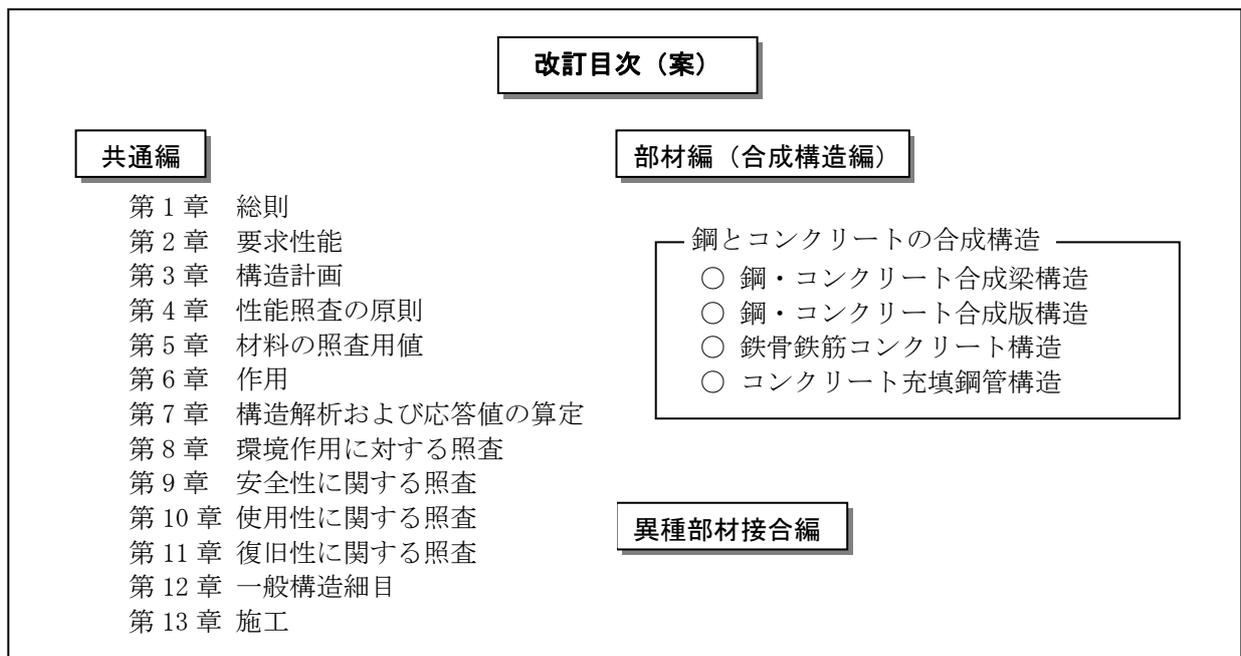


図-2 （仮）複合構造物標準示方書の基本構成

## 高速道路における複合橋梁の現状と展望 ～性能をキーワードとして～

西日本高速道路㈱ 正会員 安松敏雄

### 1. はじめに

高速道路会3会社では、旧日本道路公団時代から、新しい橋梁形式の1つとして、複合構造の橋梁の導入を積極的に図ってきた。すでに、設計要領に取り込まれ、標準形式の1つとして位置づけられるようになった複合橋梁形式がいくつもある。これは、1つは、公共事業に対するコスト縮減、品質確保、施工の省力化等の要請から、それらの解決につながる複合構造の優れた“性能”に着目するに至ったことの結果とみなすこともできる。ここでは、高速道路における複合橋梁の現状と今後の展望について、複合構造の“性能”をキーワードとして述べてみたい。したがって、“性能規定型設計”における“性能”の意味するところとは多少ずれるかも知れないが、複合構造の“性能規定型設計”に対する課題についても考察を試みる。

### 2. 高速道路における複合橋梁の現状とその導入経緯

表-1に高速道路会社の設計要領に盛り込まれている代表的な複合橋梁と、これに期待される“性能”(メリット)等を示す。また、その内のいくつかの複合橋梁の概要を図-1~3に示す。

表には「施工性」「維持管理性」「耐震性」「経済性」と記したが、結局は、それぞれの複合形式が適した条件において、既往の非複合形式に比較して経済的になることを目途に採用されているといえる。これらは、「複合構造物の性能照査指針(案)」に記載されている基本的な要求性能項目である「安全性」「使用性」「復旧性」の外に位置するものであるが、当然「安全性」「使用性」「復旧性」が満足されるという前提で「施工性」「維持管理性」「耐震性」「経済性」等のメリットが達成されるものである。

高速道路の橋梁を含めて、現在の国内の道路橋の設計は、基本的には道路橋示方書にもとづいてなされているが、新しい複合構造に関する規定は道路橋示方書にはないため、導入や要領化に当たっては、解析的検討や模型実験、実橋実験等を行なうとともに、学識経験者からなる委員会を開催し、多大な労力と時間をかけて得られた成果が設計要領に反映されたものである。その過程は、道路橋示方書の規定にもとづいて設計される橋梁が有している性能と同等ということを基本として、複合構造に要求する性能(「安全性」「使用性」「復旧性」)を満足させるための照査法を構築するための道程であったと言える。

表-1 高速道路会社の代表的な複合構造

複合構造形式	設計要領の内容	適する条件	期待される“性能”(メリット)	実績
鋼管・コンクリート複合構造橋脚(下部構造)	・ 枠内には“性能規定的”な記述。 ・ 枠外に、“適合みなし”規定的に照査式を例示。	・ 高橋脚	施工性 ・ スリップフォーム工法による施工性向上、工期短縮	多数
鋼連続合成I型断面主けた橋(鋼橋)	・ 枠内「I型断面主けたは、場所内で施工されるPC床版を有する合成けたを標準とする」 ・ 枠外に設計の参考とすべき文献を記載	・ 35~60m程度のスパン	経済性 ・ 非合成に比較してけた断面がスリム化(上フランジ)	多数
鋼・コンクリート合成床版(鋼橋の床版)	・ 参考程度の扱い。枠外に『鋼構造物設計指針PART B 合成構造物』等の関連する文献等を参考にすると良い	・ 交差条件の厳しい箇所 ・ 開断面鋼箱桁の床版	施工性 ・ 現場での型枠設置が不要	限られた条件の箇所のみ
鋼桁とRC橋脚の剛結構造(複合構造)	・ 枠内には“性能規定的”な記述。 ・ 枠外に、“適合みなし”規定的に照査式を例示。	・ 地盤が比較的軟らかい ・ 橋脚が比較的高い	維持管理性 ・ 支承が不要 耐震性 ・ ラーメン構造化	多数
波型鋼板ウェブ橋(複合構造)	・ 枠内には“性能規定的”な記述。 ・ 枠外に、“適合みなし”規定的に照査式を例示。	・ 50~110m程度のスパン	経済性 ・ 軽量化 ⇒下部・基礎構造もスリム化	多数
上部構造の混合構造(複合構造)	・ 複合構造「一般」の枠外で一般的な解説があるのみ。	・ 不等スパンの連続橋	経済性 ・ 交差条件に対して合理的な橋脚配置ができる。	限られた条件の箇所が基本

キーワード : 合成けた、合成床版、剛結構造、波型鋼板、混合構造

連絡先 : 〒530-0003 大阪市北区堂島1-6-20 堂島アバンザ19F

TEL 06-6344-7095 FAX 06-6344-7184

### 3. 複合構造における性能規定型設計に向けた課題

高速道路会社において複合構造が導入されてきた経緯と現状も踏まえ、複合構造における性能規定型設計に向けた課題について考えると以下に示す。

- ① これは、複合構造に限った話ではないが、現状の道路橋の実設計に用いている設計基準（要領・示方書）の規定は、“性能規定的”な記述にはなっていないもの、中身は、許容応力度法にもとづく“適合みなし規定”である。本来の性能規定型設計法に移行するためには、限界状態設計法の書式に移行することが必要と考えられる。
- ② 複合構造の照査法を構築する際に留意しておかなければならない点は、鋼とコンクリートの接合部において応力集中的な応力性状を示しやすいという点である。既往の橋梁形式においては、平面保持の仮定にもとづくフレーム解析等のマクロ的な解析をベースに照査法が構築されていると考えられるが、最終的には割り切ったマクロ的なモデルにもとづく照査法を設定するにしても、この点に留意しておく必要がある。たとえば、剛結構造の応力伝達機構については、付着力等の影響もあり、非常に複雑であるし、波型鋼板ウェブ橋については、断面力状態によっては平面保持の仮定が成り立たないことが明らかになっている。FEMによる照査を一般化することも考えられる。
- ③ 高速道路会社が新たに導入した複合構造については、導入されてから間がないため、経年変化や地震の影響等に関する維持管理上の情報が得られておらず、これらを蓄積することにより、今後の設計に反映していく必要がある。特に、鋼とコンクリートの境目の防錆状況や鋼で囲まれて中が見視できない剛結部分の状態（地震後等）に注目しておく必要がある。

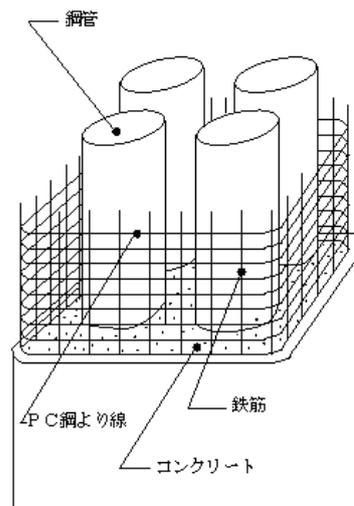


図-1 鋼管・コンクリート複合橋脚

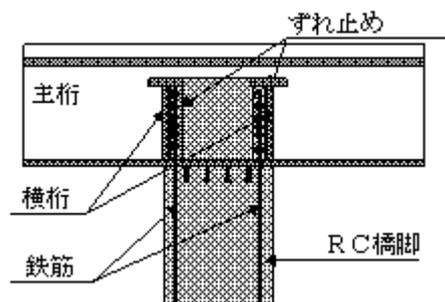


図-2 鋼桁とRC橋脚の剛結構造

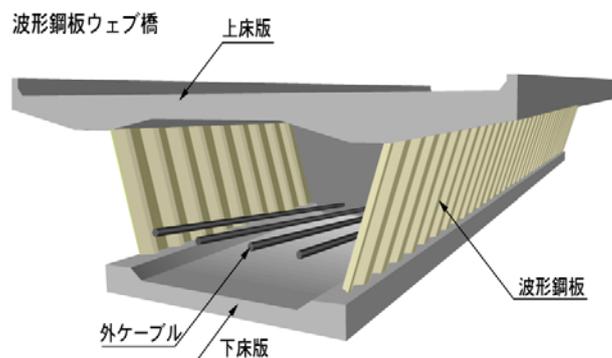


図-3 鋼板波型ウェブ橋

### 4. 複合構造の今後の展望

高速道路会社における複合構造の橋梁については、新設橋に適用する形式としては、ほぼ、出尽くした感がないでもない。しかし、橋梁の老朽化に伴い、その補修・補強が重要課題になってきており、補修・補強の分野での複合構造の“性能”発揮が期待される。また、今後、床版の取替えや橋梁の架け替えも想定され、新設よりも制約条件の大きい中での、複合構造の適用にも期待が持てる。さらに、単に既存の鋼とコンクリートの複合だけでなく、FRPやコンクリート系の新材料等、新たな材料や部材を用いた複合構造が、残された1つの開発分野ではないかと考えられる。

### 5. おわりに

性能規定型設計の意義の1つは、設計者の裁量に自由度を与えることにより、新たな合理的な構造が創出されることを促すものとして位置づけられていることである。これまで高速道路会社は、インハウスエンジニアが主導的に新しい形式の導入に関わってきたが、今後、性能発注やデザインビルド的な発注を進めていく方向にあり、複合構造を含めて、橋梁業界の設計技術者のより一層の技術力の発揮が生かされるようになることを期待している。

# 複合構造における設計方法の現状と性能照査方法について

(株) デイ・シイ フェロー会員 上平 謙二

## 1. はじめに

複合構造のメリットは周知の通りであり、近年、複合構造の採用は年々伸びているとあってよい。しかしながら、複合構造の設計方法については、構造全体の力学性能や複合構造特有の鋼とコンクリートの接合構造に見る部位性能の各限界状態での考え方やその安全率等、詳細な性能を規定した考え方は纏まっていないのが現状であると考えられる。複合構造の現状調査小委員会では、それらの点を含め複合構造適用の現状と課題を調査した。小委員会では、種々な構造を対象にアンケート調査を実施し、設計方法や性能の考え方の現状を把握し、性能照査型設計との関連や差異について考察した。話題提供としてその内容について紹介する。

## 2. 調査方法

複合構造物の設計方法等の現状調査を目的として、発注者、設計担当者等にアンケートを依頼し、回答形式での調査を実施した。アンケートの内容については、構造物の構造概要、そのメリット、設計方法(荷重作用、構造解析手法、応答値計算方法等)、性能照査設計に関する考え方について設問するとともに、複合構造の課題や性能設計に関する意見についても回答をお願いした。なお、アンケート対象構造については、過去10年程度までに完成した比較的新しい実構造物を対象とするとともに、橋梁、基礎構造、海洋構造物等について幅広く調査を行った。

## 3. 調査結果

### (1) 対象構造

調査した構造形式と構造物件数の関係を図1に示す。アンケートで実施した対象構造については、鋼・コンクリート複合構造を基本としたが、FRP桁や木桁についても解答を得たので、それらも含めることとした。合成桁橋については、波形鋼板ウェブPC橋や鋼合成桁橋が対象となっている。また、複合ラーメン構造が多くなっているのは、桁や橋脚を含めラーメン構造として複合構造に分類されているものを纏めたためである。更に、その他に分類された2件は、開削トンネルと落石覆道である。

### (2) 採用理由

複合構造が採用された理由を纏めたのが、図2である。結果として、複合構造の採用理由としては経済性が最多であった。ヒアリング項目には、施工性の向上、軽量化、工期短縮等があるが、これらも経済性に繋がる項目である。また、その他の項目として17件挙げているが、具体的には、景観配慮、止水性、低構造高化、合理性等の理由である。

キーワード：複合構造、ずれ止め、設計方法、構造性能、性能照査設計法

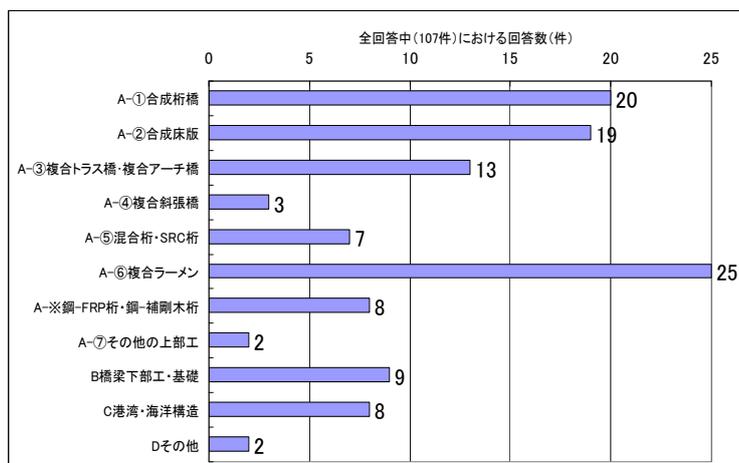


図1 調査した構造形式と構造物件数の関係

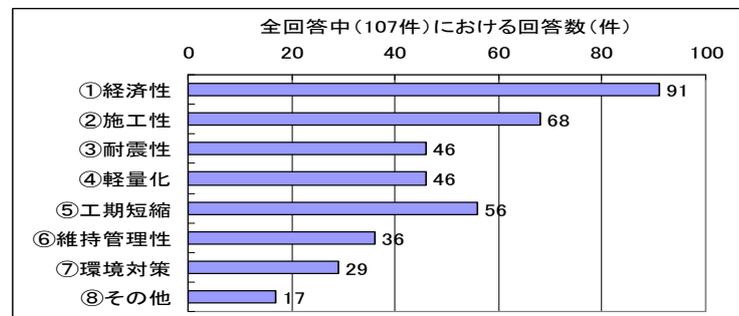


図2 各複合構造の採用理由

連絡先：〒210-0005 神奈川県川崎市川崎区東田町8 (株)デイ・シイ 本社事業開発部 TEL 044-223-4762

### (3) ずれ止め

コンクリート部材と鋼部材の接合に用いるずれ止めの採用結果は、**図3**の通りである。4割以上の構造で、頭つきスタッドが用いられている。これは、構造に関わらず、これまでの実績や経済性に基づくものであると推察できる。PBLについては、種々な構造に採用され、剛ジベルとしての機能として採用が増えつつある。また、その他のずれ止めとしては、鉄道橋における馬蹄形ジベル、鉄筋スタッド、特殊高力ボルト、ねじ鉄筋埋め込み接合、トラス鉄筋ジベル、孔あきUリブ等が採用されている。

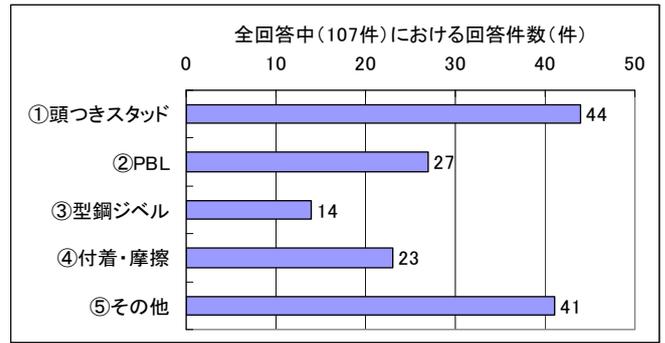


図3 ずれ止めの種類と採用件数

### (4) 設計方法

設計方法の分類を**図4**に示すが、全体の7割以上で許容応力度設計法が採用されている。また、限界状態設計法を採用した構造でも、許容応力度設計法を併用している例も多く、使用限界状態では、許容応力度設計法を採用し、耐震設計では、限界状態設計法を採用しているのが目立っている。また、その他の設計法として、合成床版橋等においては、輪荷重載荷試験による試験確認によるものがある。このように、設計方法については、これまでの実績を踏襲して、許容応力度設計法が主流となっている。ただし、鉄道橋では、限界状態設計法が主流となっているのが現状のようである。

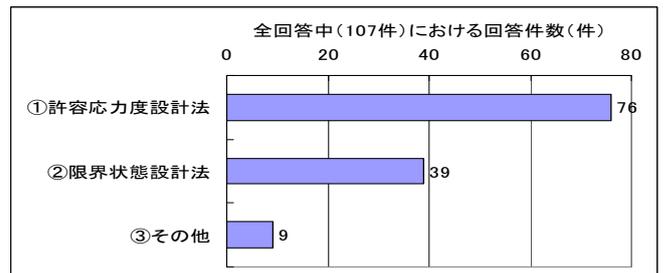


図4 設計方法の分類

以上、アンケート調査結果の中から、主に構造形式と構造物件数の関係、複合構造の採用理由、ずれ止めの種類および設計方法の分類についての結果を述べた。小委員会では、ここで得られたデータをもとに、「複合構造物の性能照査例」(複合構造シリーズ01)の内容とも比較して、各構造別の設計方法について分析・考察を加えている。ここでは、特に設計方法とずれ止めについて結論を紹介する。

## 4. 設計法に関する分析考察

以上、アンケート調査結果の中から、主に構造形式と構造物件数の関係、複合構造の採用理由、ずれ止めの種類および設計方法の分類についての結果を述べた。小委員会では、ここで得られたデータをもとに、「複合構造物の性能照査例」(複合構造シリーズ01)の内容とも比較して、各構造別の設計方法について分析・考察を加えている。ここでは、特に設計方法とずれ止めについて結論を紹介する。

まず、ずれ止めの種類と設計方法については、構造別に採用されているずれ止めの種類が異なるとともに、接合部のずれ性能を明確にし、そのずれ性能に合致したずれ止め構造を採用しているとは言いがたく、また、道路橋示方書と土木学会で設計式が異なることが挙げられる。構造物の設計の合理化を追求するためには、性能照査型の設計方法が好ましいと考えられ、そのためには、接合部の性能や構造性能をきちんと整理した中で、それぞれの性能を満足するような考え方が導入されることが望ましい。また、設計方法についても、複合構造の種類によって設計方法が異なる等、荷重作用や荷重係数の考え方、使用材料の安全率等、性能をきちんと評価できる設計方法の考え方の整理が必要であると考えられる。

## 5. まとめ

ここで述べたアンケート調査の結果と性能照査型設計法の観点からの分析・考察の結果については、「複合構造の現状調査報告書(案)」としてとりまとめる。また、これらの最新のデータに基づいて構造工学シリーズ9-Aおよび9-Bを改定する予定である。

## 参考文献

- ・複合構造物の性能照査例 -複合構造物の性能照査指針(案)に基づく- ; 土木学会 複合構造シリーズ01