

# 第 1 編

---

序 論

# 第1編 序 論

## 目 次

第1章	はじめに .....	1-1
第2章	小委員会の活動内容 .....	1-3

## 第1章 はじめに

土木学会鋼構造委員会では鋼・合成標準示方書[総則編・構造計画編・設計編]を2007年3月に出版した。鋼・合成構造標準示方書は限界状態設計法をベースとした性能照査型設計法で書かれており、学会の作るモデルコードとしての位置づけから、先進性をキーワードとして全体が取り纏められた。

鋼・合成標準示方書では、構造物に要求する性能を明確にし、計画、設計、施工、維持管理といった構造物のライフスパン全体にわたって性能を照査するなど多くの新しい試みがなされており、設計基準の進むべき方向性を示した点で、成功を取めたといえる。

しかし、性能照査型としたため具体の設計照査式は枠外の解説に移動され、照査式そのものも、既往の照査式を部分係数フォーマットに書き直しただけか、もしくは AASHTO や Eurocode などの他基準を紹介している部分も多い。

他基準を紹介している部分は関連する分野の適用可能な国内の研究成果が無いことを端的に表している。特に限界状態設計法に関しては、道路橋示方書が長らく許容応力度法を採用していることもあり、この分野での国内の研究が停滞していたように思われる。このような状況から、鋼・合成標準示方書は、まだまだ実務での使用に耐えられるレベルに達していないといった評価を複数の方々に頂いてことも事実である。

合成桁の限界状態に関する調査検討小委員会は、鋼・合成標準示方書のこのような状況を改善すべく、平成18年から約3年間の活動を行ってきた。具体的な活動内容としては以下の4項目を行った。

- (a) 鋼・合成構造標準示方書に基づく合成桁の設計計算例の作成
- (b) 鋼桁のせん断強度と曲げとせん断の相関強度評価式の検討
- (c) 合成桁の破壊シナリオ解析
- (d) 鋼橋の設計合理化に向けた今後の展望の取りまとめ

(a)設計計算例の作成は設計基準を実際に使っていただくためには、計算例を示す事が非常に重要だと考えたことと、計算例の作成を通じて標準示方書がどの程度実用に耐えうるかを検証する意味もあった。(b)、(c)は現在の標準示方書のなかで、あまり明確に書かれていない部分と他基準が紹介される部分に対応し、標準示方書の次期改訂に向けての研究を行った。(d)では設計計算例の作成や研究を進める上で明らかになった今後の課題についてまとめた。

鋼・合成構造標準示方書は改訂すべき点が多くあるが、逆に考えればそれだけ新しい研究を行う余地があるともいえる。

私見ではあるが、Eurocode を始めて見た印象はこの基準で実際に設計が出来ないと思った。また、鋼構造の欧州における国際会議で中央ヨーロッパのある国の研究者が Eurocode のドラフトのこの部分に問題があり、検討を行ったというような発表をみた。設計法を議論するプラットフォームにして、Eurocode が機能していると感じた。その後、Eurocode に基づく

試設計計算例が出版され、Eurocode の実橋への適用例が示されると内容的にはドラフトとほぼ同じ基準であっても印象が大きく変化することを経験した。

土木学会がとりまとめた鋼・合成構造標準示方書はもちろんモデルコードであり、実橋への適用にはさらに大きな隔りがあるのも事実である。しかし、今後、鋼・合成構造標準示方書が、この分野の研究をプロモーションするためのプラットフォームとして機能することを期待し、本小委員会の活動がそのような動きの先駆けになればと思う。

おわりに、委員会の活動期間中、鋼橋の分野では大変な逆風が吹き、業界再編成が起こったが、そのような状況においても報告書の作成に多大な尽力を頂いた委員の方々ならびに酒井幹事長に深謝の意を表す次第である。

平成 21 年 9 月

土木学会 鋼構造委員会  
合成桁の限界状態に関する調査検討小委員会  
委員長 奥井義昭

## 第2章 小委員会の活動内容

本委員会は、平成18年4月～平成21年9月の約3年間弱の活動を行ってきた。本章では、本小委員会の活動内容として、各回の小委員会で行われた情報収集および審議の概要について紹介する。

### 第1回 合成桁の限界状態に関する調査検討小委員会

日時：平成18年4月24日（月）

場所：土木学会 F 会議室

#### 議事

##### 1. 委員会設立趣旨説明

委員長より委員会設立趣旨について以下の説明があった。

（設立趣旨）鋼構造委員会は、鋼・合成標準示方書小委員会を設置し、現在、部分安全係数フォーマットに従った限界状態設計法に基づく設計基準を作成している。しかし、一部の基準においては海外基準をそのまま引用したものであり、開発された基準が十分な説得力を持つためには、関連する研究データの蓄積・公開が必要と考える。さらに、今まで十分な研究データが蓄積されていると考えられていた項目においても、最近の少数主桁合成橋梁のプロポーシオンとは乖離したデータに基づき策定されたものが含まれるなど、新たな問題も指摘されている。このような背景から、本章委員会では国内外の設計基準類と最近の研究成果を詳細に調べ、標準示方書小委員会における基準策定のための裏づけ資料や研究データをまとめるとともに、標準示方書委員会設計部会で審議が解決しなかった項目について、設計指針案のもととなる技術資料の作成を目標とする。

##### 2. 小委員会委員紹介

各委員から、所属、これまでの関連する業績、委員会への応募理由などについて自己紹介がなされた。

##### 3. 今後の活動の進め方

委員会の今後の活動の進め方について以下のようなフリーディスカッションを行った。

- ・ 小委員会で検討するテーマについて、設計基準、合成橋梁の調査、設計計算例の作成などの活動テーマを分類しWGを立上げることを検討する。
- ・ 小委員会で検討するテーマについて、今回のディスカッションを踏まえ次回までにアンケートを実施し、集約した結果をもとに審議する。
- ・ 各回の小委員会で、各委員から関連するテーマについて情報提供してもらうこととした。
- ・ 情報提供内容として、鋼・合成標準示方書の合成桁の基準の内容、合成桁の断面区分とずれ止めの設計、NEXCOにおける合成桁の設計の取組み、合成ハイブリッド桁の検討、海外を見据えた鋼橋の設計などについて提案があった。

## 第2回 合成桁の限界状態に関する調査検討小委員会

日時：平成18年6月28日（水）

場所：土木学会 F 会議室

### 議事

#### 1. 話題提供

##### 1) 合成桁の断面区分とずれ止めの設計（奥井委員長）

曲げを受ける合成桁の設計に関しては、AASHTO や Eurocode 基準の断面区分における考え方の疑問点を挙げ、有限要素法を用いたパラメトリックスタディ結果より、応力勾配と初期曲げモーメント効果を考慮した新しい提案式を示した。また、ずれ止めの設計については、主桁の一部が塑性化することに起因する水平せん断力分布の変化について、ファイバーモデルを用いた数値解析によって、その現象を解析的に確認したことなどが報告された。

##### 2) NEXCO における合成桁の設計法（酒井委員）

コスト削減に向けた取組みとしてプレキャスト床版を用いた連続合成桁に関する検討としてスタッドの設計に関する検討内容が紹介された。また、限界状態設計法を用いた鋼橋の設計による合理化の可能性を検討するため、コンパクト断面設計やハイブリッド断面の採用などの効果について試設計を行った結果について紹介され、それぞれの設計法を用いることで10~20%程度は鋼重の低減が可能であることが報告された。一方で、たわみの増加などもあることから耐荷性能のみならず、これまでの鋼橋であった不具合を避けるための性能設計（評価方法）の必要性が提案された。

#### 2. 今後の小委員会活動のテーマ

設計基準関連のテーマとして、鋼桁・合成桁の断面区分、ハイブリッド桁の耐荷力評価、2重合成桁、高力ボルトの設計などが挙げられた。

合成橋梁の調査のテーマとして、合成 I 桁、2重合成桁、ハイブリッド桁、合成パイプ、合成トラス、合成斜張橋などの調査が提案された。国内だけでは事例収集も難しいことから、どこまで出来るのかを考え、今後の活動について検討することとなった。

設計計算例の作成については、上記の設計基準関連の検討を進めながら検討することとなった。当面は AASHTO などのホームページや報告で公開されている事例収集を行うこととなった。

## 第3回 合成桁の限界状態に関する調査検討小委員会

日時：平成18年9月19日（火）

場所：京都大学吉田キャンパス百周年時計台記念館 2F 会議室

### 議事

#### 1. 話題提供

##### 1) 高性能鋼材を用いた合成ハイブリッド箱桁（利根川委員）

高性能鋼 BHS500 をフランジに使用するハイブリッド桁の適用に関する検討について紹介があ

った。JSSC 指針で考慮していない斜引張作用をある程度考慮できることについて意見があった。また、サンドイッチ合成床版を用いたハイブリッド合成桁の実験および解析では、十分は変形性能、耐荷性能を有し、少補剛設計の適用も可能であることが判った。試設計では SM570 材のみを使用したケースに比較し、BHS を用いたハイブリッド桁で製作コストが 15%以上の合理化が図れる可能性があることが報告された。

## 2) 鋼系橋梁の技術開発の今後の方向性（長井委員）

鋼橋の合理化として少主桁化、細幅箱桁等の合理化がこれまでなされ年々一般化されてきた。今後の鋼橋の技術開発として支間 70m 以上の競争的橋梁の開発が課題であることから、2重合成桁や剛結構造などの合成（複合）構造の設計の高度化が必要であることについて提案があった。限界状態設計法の導入によりこれらの高度化の可能性を具体的な試設計事例から示唆し、その効果と課題について示された。

## 2. 今後の小委員会の活動内容

今後の小委員会での調査検討の活動を、設計基準関連と合成橋梁調査の2つのWGを立上げ行うこととした。また、今回の小委員会で、各委員がどのWGに所属するかを決定した。なお、設計基準WGはさらにテーマを決めて細分化し活動することとなった。

## 第4回 合成桁の限界状態に関する調査検討小委員会

日時：平成19年4月25日（水）

場所：土木学会 E 会議室

### 議事

#### 1. 話題提供

##### 1) ハイブリッド桁の曲げ・せん断耐荷力に関する検討（野阪委員）

鋼桁単体のハイブリッド桁の曲げ・せん断耐荷力に関する実験について紹介があった。実験では、AASHTO LRFD の耐荷力式が実験結果で求められる耐荷力と比較し平均して 86%程度で十分安全側の基準値であることが判ったことが報告された。また、フランジのアンカー作用は確認できず、ウェブの降伏によりフランジの応力増加があることが報告された。さらに、実験によって曲げとせん断の相関は顕著なものは見られないことも判っていることが報告された。

#### 2. 各WGの活動内容

設計基準関連WG1は、鋼・合成構造標準示方書に基づく設計計算例を作成するWG1-A、耐荷力について検討するWG1-B、合成桁の破壊シナリオや変形性能について検討するWG1-Cの3つに分割することとなった。合成橋梁調査WG2については、具体的な合成橋梁の設計に関する調査を実施し、成果をまとめるのは海外調査なども必要であり困難と考え、WG1の活動や最終的な報告書に寄与するような間接的な調査活動とし、幹事を中心に企画し直接成果を求めないこととした。6月末にEurocodeの合成桁の基準に詳しいローザンヌ大学のLebet教授が来日するので幹事委員でディスカッションできる場を企画することとなった。

## 第5回 合成桁の限界状態に関する調査検討小委員会

日時：平成19年6月28日（木）

場所：土木学会 E 会議室

### 議事

#### 1) Lebet 教授（ローザンヌ大学）意見交換会

- ・ La Dala Gorge Bridge の長支巻間コンクリート床版を有する細幅箱桁橋の設計・施工について紹介があった。
- ・ ガラスを利用した構造物の耐荷力特性について説明があった。
- ・ TKY 溶接、鋳物格点構造の疲労特性および Needle peening による応力改善効果について紹介があった。
- ・ PCaPC 床版と鋼桁の新しい接合方法として、上フランジ上面に波形鋼板をつけて床版と一体化する方法について紹介があった。プレキャスト床版の目地部での漏水の発生から橋軸方向にプレストレスを導入する事例も少なくないことの報告があった。
- ・ スイスにおける橋梁マネジメントの取組みについて説明があった。
- ・ ローザンヌ大学の鋼構造に関する教育・研究機関（EPFL-ICOM）について教員、各コースなどの説明があった（参考 URL <http://icom.epfl.ch/>）。



写真 1-1 小委員会委員と Lebet 教授とのディスカッションの様子（平成19年6月28日）

## 第6回 合成桁の限界状態に関する調査検討小委員会

日時：平成19年8月7日（火）～8日（水）

場所：函館工業専門学校、NEXCO 東日本北海道支社管内橋梁建設現場

### 議事

#### 1. 話題提供

##### 1) 木橋の限界状態設計法（平沢委員）

集成材により桁を構成する近代木橋を対象として、土木学会の木橋技術に関する活動の紹介お



よび木橋の限界状態設計法について紹介された。また、「木橋の手引き 2005」(土木学会木橋技術小委員会)における限界状態設計法を用いた計算例が紹介された。さらに、木橋における修復限界状態の捉え方について報告された。

## 2) 波形鋼板ウェブ橋の面内合成評価(村上委員)

波形鋼腹板は曲げおよび軸力に対する抵抗を無視して設計されるのが一般的である。さらに、合理的な断面設計を目的とした、有効幅を用いた面内剛性評価法に関する研究成果について報告された。そこでは、波形形状をパラメータとした弾性有限要素法解析結果より、波形鋼腹板は面内剛性を有していることや、面内剛性を考慮するための有効幅の定式化できることが報告された。また、橋軸直角方向に応力が発生していることや、波形鋼腹板の剛性を考慮することにより、PC床版に導入されるプレストレス力が小さくなることが報告され、波形鋼腹板と鋼フランジの剛性を考慮した場合、PC床版下縁応力が14%減少することが示された。

## 2. 現場視察

NEXCO 東日本北海道支社の協力を得て、北海道縦貫自動車道の建設現場の視察を行った。視察では架設の合理化のため超高強度コンクリートを用いた波形鋼板ウェブ橋(鳥崎川橋)やPC床版連続合成2主桁橋の建設現場を見学した。

## 第7回 合成桁の限界状態に関する調査検討小委員会

日時:平成19年11月14日(水)

場所:土木学会役員会議室

### 議事

#### 1. 話題提供

##### 1) 道路橋示方書の改訂動向(中村委員)

平成14年の道路橋示方書からさらに性能設計を進めるため鋼橋において部分係数設計法の導入について検討されていることが報告された。また、具体的な要求レベルや荷重係数などについては審議されていることも報告された。

##### 2) 鋼桁の横ねじれ座屈に関する実用的設計法の検討(水口委員)

道路橋示方書に基づく横倒れ座屈に関する基準耐荷力曲線の概要とその問題点について提案があった。検討のなかでは骨組み解析を用いて弾性座屈モーメントの算出方法について検証しており、その結果について報告があった。

#### 2. 各WGの活動報告

##### 1) WG1-A(設計計算例作成WG)

各委員の役割分担とスケジュールについて報告があった。第1原案と調整事項について今年度末を目標に仕上げる計画について報告された。

##### 2) WG1-B(耐荷力検討WG)

曲げとせん断の相関について一部解析が完了し、今後パラメータを決めて各委員で分担する計

画について報告があった。また、解析にあたってベンチマーク的な解析を各委員で行うこととなった。

### 3) WG1-C (破壊シナリオ、変形性能 WG)

破壊シナリオの解析的検討内容について整理していることが報告された。WG1-A で設計された構造をモデルに検討することとなった。

## 第8回 合成桁の限界状態に関する調査検討小委員会

日時：平成20年2月25日(月)

場所：土木学会 E 会議室

### 議事

#### 1. 話題提供

##### 1) 鋼橋腹板の終局耐荷力に関する載荷実験(野呂委員)

異なる3つの合成桁の供試体を用いて終局耐荷力に関する載荷実験を行った。3つの供試体はそれぞれせん断卓越モデル、曲げとせん断耐力が同等程度のモデル、曲げ卓越モデルである。全ての供試体において計算で求められる全塑性モーメントまで破壊せず十分な耐荷力を有していたことが報告された。また、実験では Basler の耐荷力式より小さい段階でせん断変形が生じているものも見られたが、曲げ耐力の低下は見られていないことが判ったことが報告された。

#### 2. 各 WG の活動報告

##### 1) WG1-A (設計計算例作成 WG)

全体構成とスケジュールについて報告がなされた。また、設計条件、設計検討断面、断面力の解析、架設時の照査、終局限界状態の照査について作業完了の報告がされた。

##### 2) WG1-B (耐荷力検討 WG)

解析にあたってベンチマーク的な解析が完了し、パラメトリック解析を各委員で進めていることが報告された。

## 第9回 合成桁の限界状態に関する調査検討小委員会

日時：平成20年6月4日(水)

場所：銚子大橋建設現場

### 鋼橋建設現場視察

WG2(橋梁調査 WG)として企画。千葉県県土整備部の銚子整備事務所と茨城県土木部の潮来土木事務所の協力を得て、銚子大橋の新橋建設現場に視察に行った。隣接する旧橋の老朽化の問題点をヒアリングするとともに、交通を確保しながら施工する新橋建設のための課題とその解決策について調査した。今後、リニューアルにおいて鋼橋の需要があり、合理化は新設のみならず改修工事においても必要とされると感じられた。

## 第10回 合成桁の限界状態に関する調査検討小委員会

日時：平成20年7月2日（水）

場所：土木学会 F 会議室

### 議事

#### 1. 話題提供

##### 1) 鋼橋の限界状態設計法の導入の検討（酒井委員）

NEXCO で行っている鋼橋の限界状態設計法の導入のための検討について報告があった。終局限界照査荷重を超える荷重が万一載荷された場合も急激に崩壊しないことの検証のため破壊シナリオや支点部の座屈解析などを行っており、限界状態設計法を用いることで塑性化後の挙動について把握でき十分な構造冗長性を有する結果であったことについて報告がなされた。また、これまでの交通実態から、使用限界状態の照査に用いる荷重であれば、通常想定される範囲では降伏に対し十分な安全率を有していることについて報告された。また、剛性の低下による騒音・振動等に対して検討する方法について提案された。

##### 2) 正曲げを受ける合成桁の終局曲げ強度特性（長井委員）

合成桁の終局曲げ強度特性について、諸外国の現状紹介と正曲げ4ケース、負曲げ3ケースで実施した実験結果が報告された。わが国では25年前に限界状態設計法の検討が行われていたが、導入されず、諸外国と比較して空白の期間があること、合成桁では全塑性モーメントが降伏モーメントの1.4～1.6倍程度となり、終局曲げ強度として塑性域を考慮すればより競争力アップに向けた展開が可能であることが報告された。実験では、正曲げの場合に塑性中立軸が床版内でも全塑性モーメントに達することが報告された。また、曲げとせん断との相関強度低下も見られないことが報告された。

#### 2. 各WGの活動報告

##### 1) WG1-A（設計計算例作成WG）

ほぼひとつおりの作業が完了し、その内容について報告された。また、設計計算を作成するにあたって鋼・合成標準示方書だけでは判断できない事項について再度整理し、WG内で整理し、次回小委員会または幹事会等で審議することとした。

##### 2) WG1-B（耐荷力検討WG）

パラメトリック解析について各委員の作業がほぼ完了したことが報告された。しかしながら、いくつか結果に想定外のものも見られたことから、今後詳細な解析内容について確認し、必要に応じて修正を行い再解析することとなったことについて報告された。

##### 3) WG1-C（破壊シナリオ、変形性能WG）

解析の進捗について報告された。今後、まとめ方について解析結果をみて整理していくことが報告された。

## 第11回 合成桁の限界状態に関する調査検討小委員会

日時：平成20年9月9日（火）

場所：東北大学 人間環境系実験棟大学院講義室

## 議事

### 1. 各 WG の活動報告

#### 1) WG1-A (設計計算例作成 WG)

1 次原稿を本小委員会の委員に査読してもらったことから、以下の査読意見について審議。

- ・各限界状態の照査に用いるせん断耐力の算出方法
- ・照査に用いる部材係数
- ・本設計計算例で用いている設計条件、各照査式の適用範囲

#### 2) WG1-B (耐荷力検討 WG)

パラメトリック解析がほぼ完了し、曲げとせん断の相関式との整合性についてとりまとめを行っていることが報告された。

### 2. 報告書の作成と今後のスケジュール

報告書の作成計画について審議した。審議した大筋の計画をもとに各 WG の実行計画を策定することとなった。

## 第 12 回 合成桁の限界状態に関する調査検討小委員会

日時：平成 21 年 1 月 9 日 (火)

場所：土木学会 E 会議室

## 議事

### 1. 話題提供

#### 1) 合成桁の火災に関するシミュレーション解析 (JIP テクノサイエンス 竹原氏)

2008 年には首都高でトラック横転による橋梁火災により首都圏の交通に多大な影響を与えた事故が発生した。WG2 ではそれらに関連して上記の講演者に依頼し、合成桁においてそうした火災が起きた場合にどのようなになるのか、阪神高速の撤去した合成桁を用いた実験とシミュレーション解析の結果について講演いただいた。

今回の実験結果を用い、境界条件等をあわすことができれば、実際の状態をある程度シミュレーションすることが可能となり、どれくらいの時間でどの部位がどの程度の温度に達するか想定できることが報告された。これにより、火災 (受熱) 時間と橋の崩壊時期の関係等が明らかになり、橋の防災上有益なシミュレーションができることが判った。

### 2. 各 WG の活動報告

#### 1) WG1-A (設計計算例作成 WG)

査読意見を回収し、回答について整理したことが報告された。回答内容について審議し、設計計算例および解説について必要な箇所を修正することとなった。

#### 2) WG1-B (耐荷力検討 WG)

解析・整理が完了し、報告書の作成内容およびスケジュールについて報告があった。

### 第13回 合成桁の限界状態に関する調査検討小委員会

日時：平成21年4月28日（火）

場所：土木学会B会議室

#### 議事

##### 1. 報告会実施計画

本小委員会の報告については報告会を持って行うことを決定した。また、報告会の実施時期、場所、内容、講演者について審議した。実施にあたっての手続き等は幹事長を中心に行うこととなった。

##### 2. 報告書編集計画

報告書のまとめ方について以下の審議を行った。

- ・各WGの活動報告は、各編独立で取りまとめる。
- ・報告書作成後、査読会をWG主査および講演者、執筆者を中心に行うこととした。
- ・報告書作成のスケジュールについて確認した。

### 第14回 合成桁の限界状態に関する調査検討小委員会

日時：平成21年6月30日（火）

場所：土木学会役員会議室

#### 議事

##### 1. 報告書査読

報告書の内容について以下の審議を行った。

- ・小委員会名簿の所属等について再確認を行う。
- ・全体目次に各編の章単位を掲載するなどの全体構成の確認。
- ・第2編に設計計算例の全体概要を説明する章を追加。
- ・設計計算例の右欄の参考文献の記述を統一。
- ・終局限界状態の照査に用いる制限値を計算するための係数など今後の課題を整理する。

##### 2. 報告会準備

報告会準備について以下の報告がなされた。

- ・会告の手続きが完了した。
- ・報告会準備会を発表者と幹事で8月に開催することとした。