

1. はじめに

1. 1 分科会活動の経緯と耐震設計の最近の動向

性能照査型設計が建築分野および土木分野で、最近注目を集めている。建築分野では平成7～9年度にかけて、建設省総合技術開発プロジェクト「新建築構造体系の開発」が実施され、性能照査型設計への基礎と課題がまとめられた。さらに、平成10年には建築基準法の改正法が成立し、建築基準の性能規定化への手続きが始められた。土木分野においても将来の本格的な性能照査型設計法に向けて、道路橋示方書の改訂が作業中であり、第1段階の改訂版が平成12年度中には発行されると言われている。

性能照査型設計法が要望されるに至った背景としては、行政改革、規制緩和および市場開放などの要請が第一に挙げられるが、阪神大震災において得られた構造物の安全性および機能性に関する新しい教訓も大きな要因となっている。したがって、耐震に関する性能照査型設計法は重要な問題であり、土木学会鋼構造委員会・鋼構造物の耐震検討小委員会（委員長：宇佐美勉）の5つの分科会のうち、第1分科会（主査：伊藤義人）では、性能照査型設計法に向けて耐震設計法を高度化するための課題について検討した。

1. 2 土木学会第三次提言へ向けての動き

土木学会は、1995年1月17日の阪神大震災以後、1995年3月に「耐震基準等基本問題検討委員会」を発足させ、今後の土木構造物の耐震性のあり方および都市と地域の地震防災性向上のための方策などに関する検討を開始した。この委員会の成果は、1995年5月および1996年1月に、それぞれ第一次、第二次提言〔土木学会、1995、1996〕としてまとめられた。

鋼構造物に限って具体的にいえば、提言は以下のような内容であった。

- ・地震動のレベル（レベル1，2）と重要度に応じて構造物に要求される耐震性能を定める。
- ・重要な構造物および早期復旧が必要な構造物は地震後、比較的早期に修復可能であること。
- ・上記以外の構造物に対しては構造物全体系が崩壊しないこと。
- ・不静定次数が低い構造物は保有耐力の確認を厳格に実施すること。
- ・不静定次数が高い構造物は損傷過程を考慮した変形性能解析が望ましいこと。
- ・鋼構造物に対しても保有耐力や変形性能の照査を行うこと。
- ・変形性能を高めるための断面構成あるいは断面内応力の制限についての研究開発を行うこと。
- ・免震・制震技術などの新技術の積極的導入を図ること。

これらの提言の中のレベル2地震動などの考え方は、関係機関で行われた耐震基準の改定において取り入れられた。

しかし、第一、二次提言で述べられた内容を耐震基準改訂の中で具体化していくためには、なお多くの以下のような課題が残されていた。

- 1) レベル2地震動の設定の方法論
- 2) 種々の土木構造物の耐震設計法の統一的な考え方の構築
- 3) 阪神大震災にいて提起されたその他の課題

そこで、第三次提言を目指して、1997年6月に「土木構造物の耐震設計法特別委員会（委員長：土岐憲三（京都大学））が組織された。主要課題を速やかに検討して、その成果を社会に還元するため、以下の6つのワーキングが作られた。

- 1) 入力地震動（WG1，委員長：大町達夫（東京工業大学））
- 2) 鋼構造物の限界状態（WG2，委員長：三木千寿（東京工業大学））
- 3) コンクリート構造物の限界状態（WG3，委員長：池田尚治（横浜国立大学））
- 4) 液状化および側方流動（WG4，委員長：濱田政則（早稲田大学））
- 5) 土構造物および地中構造物の耐震設計法（WG5，委員長：龍岡文雄（東京大学））
- 6) 地震防災社会システム（WG6，委員長：黒田勝彦（神戸大学））

土木学会の第3次提言のための鋼構造のワーキンググループ（WG2）の活動は、1999年3月に終了し、その報告書〔三木，1999〕を特別委員会に提出した。特別委員会報告書の第5としてかかれた報告書の目次は以下のものであった。

5. 鋼構造物の耐震性能と設計法

- | | | |
|-------|-------------|--------------|
| 5.1 | 設計の考え方 | （宇佐美：名古屋大学） |
| 5.2 | 保有すべき耐震性能 | |
| 5.2.1 | 部材と構造物 | （宇佐美：名古屋大学） |
| 5.2.2 | 鋼材 | （三木：東京工業大学） |
| 5.2.3 | 構造詳細 | （三木：東京工業大学） |
| 5.3 | 耐震解析法 | |
| 5.3.1 | 耐震解析法の分類 | （中村：電力中央研究所） |
| 5.3.2 | 非線形静的解析 | （中村：電力中央研究所） |
| 5.3.3 | 非線形動的解析 | （中村：電力中央研究所） |
| 5.3.4 | 構造システムの耐震解析 | （藤野：東京大学） |
| 5.4 | 耐震照査法 | （市川：JR総研） |
| 5.4.1 | 想定限界状態 | |
| 5.4.2 | 照査項目とその照査方法 | |
| 5.5 | 今後の課題 | （伊藤：名古屋大学） |

この中では、土木学会の耐震設計に関する第一次および第二次提言を受けて鋼構造物の耐震設計の現状を概観すると共に、その高度化に必要な研究開発の課題

について述べている。対象構造物は主として橋梁に限定しており、耐震設計法の具体的な提案は新技術報告書〔鋼構造新技術小委員会，1996〕の内容を受けている。そして、鋼材や構造システムについても現状と今後の問題を扱っている。

この報告書の最後で、今後の課題として以下のものが挙げられている。

- 1)性能照査型耐震設計法の確立
- 2)残留変位低減橋脚の開発
- 3)損傷度限界（小，中，大損傷，崩壊）の判定基準の再検討
- 4)逆L型橋脚の耐震照査法（橋軸方向，橋軸直角方向）
- 5)多層（2層以上）ラーメンおよび異形ラーメン橋脚の耐震解析法・照査法
- 6)橋脚に適した制震装置（含免震支承）の開発
- 7)構造システム（含制震装置）の簡易耐震解析法
- 8)アーチ橋，斜張橋，吊橋等の土木鋼構造物の耐震解析法・照査法
- 9)地盤，基礎の影響
- 10)交番載荷実験における繰り返し回数の考え方
- 11)繰り返し荷重を受ける耐震部材のための鋼材の高規格化

非常に細かい点についても挙げられているが、基本的には性能照査型耐震設計法を目指して、設計法の高度化をはかる必要性が明らかにされたと見ればよい。

1.3 設計法の高度化のフレームワークとその意義

設計法の高度化のフレームワークとして、この委員会では性能照査型設計法の導入を前提としたものを考えている。性能照査型設計法を導入しようとする意義は次の2点にあると考えられる。

- a)要求される性能を明確にすること
- b)性能を実現するための方法に自由度を与えること

これらが要望されるに至った背景としては、社会の構造的変革（行政改革，規制緩和の要請），市場開放において障害にならない技術基準あるいは国際規格への適合，および阪神大震災において得られた構造物の安全性・機能性に関する新しい教訓が挙げられる。

これらの意義や背景から、性能照査型耐震設計法の基本的枠組みにおいて、考慮されなければならない重要な事項は以下のようなものである。

1)性能を基盤とした設計法

性能を基盤とした設計法では、荷重が設定されたときの構造物の応答と、構造物が持つ限界値が、次式を満たすように設計することが必要である。

$$\text{応答値} \leq \text{限界値} \quad (1.1)$$

この関係を満たすためには、従来の（許容応力 \geq 設計応力）などとは異なり、構

造物の性能が明らかになっていなくてはならない。しかし、照査技術のレベルに応じて性能を別の指標に変換し、具体的な設計指標にしなければならない場合が大半であり、性能と指標の関係を明らかにしておくことも必要である。このような設計法によれば、社会基盤整備事業推進に対するアカウンタビリティを増すことにもつながる。

2)機能保持耐震設計

阪神大震災において構造物の倒壊は免れたものの機能を失ったものも多くあったため、社会的・経済的に大きな損失が発生したことが教訓となっている。このことから終局限界の手前で損傷を制御し、機能の維持をはかる耐震設計が必要である。

3)重要度の考慮

土木学会から提言されたように、構造物の耐震設計は、社会・経済的な制約の下で行われるものであるから自ずから限界があり、重要度を考慮して合理的に行われなければならない。また、社会一般にも理解されやすい枠組みであることが必要である。

4)信頼性理論に基づいた設計法

国際規格への適合のために、ISO2394（構造物の信頼性に関する一般原則）の要求事項に則した基準である必要があり、信頼性理論に基づいた限界状態設計フォーマットが求められている。

5)性能検証のしくみ

性能照査型設計法が機能し、新技術開発が促進されるためには、性能を検証する方法が予め定められており、検証結果を審査する第三者的な認証機関が必要である。現在、1)国、地方公共団体などの事業主体の代表、2)大学等の中立機関の学識経験者、3)民間などの高度な技術者などから構成される認証委員会などが構想されているが、今後、国民に対する説明責任が果たせ、かつ、鋼構造の技術開発結果を積極的に取り入れられ、かつ透明性の高いものが考えられる必要がある。

鋼構造物の設計法の高度化をはかるためには、a)要求性能の設定、b)限界値の設定、c)性能評価、d)性能照査、e)情報公開について、検討をする必要がある。

1.4 報告書の概要

本報告の構成は以下の通りである。第1章の序論に続いて、第2章では耐震設計で要求される性能を検討し、性能照査型耐震設計法の基本的枠組みと問題点についてまとめている。第3章では要求性能を定める上で問題となる地震動の想定と構造物の重要度について述べている。第4章では限界状態の定義を明確にし照査すべき事項を峻別するために、橋梁の破壊シナリオについて述べている。第5章では限界状態の内、阪神淡路大地震以降、特に重視されるようになった地震後

の使用性について述べている。第6章では国際規格への対応として、限界状態設計法のフォーマットと安全係数設定の考え方について述べている。第7章では限界状態設計法に基づいた性能照査型耐震設計法のまとめと今後の課題について述べている。

参考文献

- [鋼構造新技術小委員会, 1996] 土木学会鋼構造委員会・鋼構造新技術小委員会・耐震設計研究WG: 鋼橋の耐震設計指針と耐震設計のための新技術, 1996年7月.
- [三木, 1999] 土木学会, 土木構造物の耐震設計法特別委員会WG2報告書, 1999年3月.
- [藤谷, 1998] 藤谷秀雄: 性能を基盤とした新構造設計体系ー建築における構想ー, 土木学会誌, 1998.1.
- [土木学会, 1995, 1996] 土木学会: 土木構造物の耐震基準等に関する提言(第一次提言), (第二次提言).