

付録 2
第 1 分科会議事録

鋼構造物の耐震検討小委員会

第1回 第1分科会 会議議事録

日時：平成10年2月5日（木） 14:00～16:00

場所：土木学会 図書館講堂

出席者：宇佐美委員長，青木，山口，山尾，市川，加藤，中村（聖），藤田，矢幡，織田，
以上10名

- 資料：I-1-1 議事次第
I-1-2 名簿
I-1-3 第1回全体会議議事録
I-1-4 鋼構造物の耐震検討小委員会活動方針（資料9-1-8の主査名を修正）
I-1-5 第1分科会（耐震設計法の高度化）活動方針案
I-1-6 耐震性能と限界状態の定義（種々の耐震基準の比較）
I-1-7 コンクリート標準示方書（耐震設計偏）抜粋
I-1-8 建設省総プロ「新建築構造体系の開発」平成7年度報告書
I-1-9 建設省総プロ「新建築構造体系の開発」平成8年度報告書
I-1-10 大震災の教訓を活かすために－実務技術者からの提案
（阪神・淡路大震災対応技術特別研究委員会報告書 平成9年4月）
I-1-11 第43回構造工学シンポジウム パネルディスカッション
「これからの構造設計を考える－性能照査型設計にむけて」資料集抜粋
I-1-12 堺孝司「性能照査型設計法のゆくえ」，橋梁と基礎，97-8
I-1-13 藤谷秀雄「性能を基盤とした新構造設計体系－建築における構想」
土木学会誌，1998-1
I-1-14 川島一彦「地震時保有水平耐力法の高度化に求められる今後の研究課題」，
第1回地震時保有水平耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関する講演論文集（1998年1月）
I-1-15 岡田恒男「建築における性能設計」，コンクリート工学，1997-11
岡村甫「性能照査型基準について－耐震設計－」コンクリート工学 1997-11
I-1-16 日経コンストラクション（1997.4.25）抜粋「一問一答」
I-1-17 藤田宗久「構造設計規準の未来像」，土木学会安全問題討論会'97 研究論文集，
1997.3
I-1-18 「第2回鋼構造物の非線形数値解析と耐震免震設計への応用」に関するシンポジウム論文募集のお知らせ

議事：

1. 委員長挨拶

宇佐美委員長より以下の話があった。

この委員会の目標は、耐震特別委員会WG2（鋼構造，主査三木先生）に協力し，成果を取り上げてもらうこと，さらにその親委員会（土岐委員長）から出される提言に反映してもらうことである。内容的には2～3年もかけるべきものではないと思われるので，可能ならば来年度いっぱいまでまとめ，ドラフトを作りたい。

2. 前回全体会議議事録確認

前回の全体会議の議事録を読み上げ，内容を確認した。

その結果，第3分科会の主査は後藤先生（名工大），第5分科会の主査は北田先生（大阪市大）の誤りなので修正する。

また，JSSCの委員会と合同で活動することについては，三木先生（第2分科会），藤野先生（第4分科会）から了承をいただいている。

3. 資料I-1-4について

これは前回の全体会議の資料 9-1-8 で、第 3 分科会および第 5 分科会の主査を、それぞれ後藤先生、北田先生に修正したものである。

4. 第 1 分科会の活動方針と配布資料の概要

宇佐美委員長より、資料 I-1-5 に基づいて第 1 分科会の活動方針案について説明があった。

(1) この委員会で議論すること

「機能保持」、「重要度」、「性能照査」、「安全性水準」、「設計フォーマット」など。

(2) 基本方針・討議順序

① 問題点の作成：他分野の考え方を調査し、残された課題を明確にする。他分野との整合も考慮する。

② 討議項目の決定：コンセプトから順次、細目に渡って議論ができるように項目を整理する。

③ 注意事項：現実的な対応。個別な研究テーマは対象としない。他委員会との連携。

次に資料 I-1-6 に基づいて、現在ある各耐震基準の特徴として、各基準における耐震性能区分および重要度との対応について比較があった。

さらに、配布資料について出典などの概要説明があった。

5. 自由討議

Q. 構造物の重要度はなかなか決めることができないと思う。非常に基本的なことは示すことができるかもしれないが、この分科会ではどこまで議論するのか。

A. 新技術小委員会でも、行政にも関わる問題ということで十分な議論ができなかった。

Q. 先ほど、1年でモデルコードを作るという話があったが、本当にできるのか。現在、構造設計指針の国際規格として ISO2394 (Eurocode 1 に対応) のファイナルドラフトが出され審議中である。建築学会の方で審議しているようであるが、なかなか結果が出てこないの、おそらく、このまま成立すると思う。また、土木学会の中でも ISO 特別委員会 (長瀧先生)、構造工学委員会の中で構造物設計国際標準研究小委員会 (古田先生) が活動中である。構造設計のコンセプト作りは大きな問題であり、これらとの摺り合わせも必要と思うので、1年は難しい。

A. 1年は絶対に守らなければならない期限ではない。ISO 関係の資料を提供願いたい。

Q. ISO2394 の日本語訳はあるのか。

A. ファイナルではないが、和泉研 (清水建設) で訳したものがある。

Q. 建設省は動いているのか。

A. ISO 特別委員会が設置されたが、まだ始まったばかりである。

Q. コンクリート標準示方書 (安全係数 γ を使う) は ISO に似たスタイルなのか。鋼構造物設計指針 (土木学会) は、これとかなり違っている。

A. 先ほどの重要度の決め方であるが、この委員会では、どの様な事を考慮して、どのような方法で決めるかというコンセプトまでを示すことになる。

Q. 構造物の重要度は具体的な数値でもって示す必要がある。そして、耐震性能の区分に合わせて重要度を区分すると非常に分かりやすい。具体的にしないと、不毛の議論になる恐れがある。例えば、篠塚教授 (コロンビア大) の説明によると、アメリカの原子力構造物はリスクマネジメントによって、非常に具体的に重要度が決められている。具体的に、人命もお金に換算し、機能停止による収入減なども考慮すると、基準作りがやり易くなると思う。具体的に説明できなければ、我々土木技術者は無責任であると思う。

A. 設計では耐震性能を選ぶことが、重要度を決めていることと同じである。重要度を損失コストから細かく決めても、対応する耐震性能の方がそれほど細かく区分できない。

Q. その耐震性能を選ばせるためのデータが必要ではないか。

A. この分科会では、耐震性能の区分を決めるときのキーワードとして重要度を考えておけばよく、重要度だけを掘り下げて議論する必要はないのではないかと。以前、新幹線と在来線の重要度を決めようとしたが、利害関係によってかなり考え方が異なり、結局決めることはできなかった。

Q. きちんと数量化していないから、決められないのではないかと。

A. 数量化そのものが困難である。

Q. リスクマネジメントとは、具体的にどういうことか。

- A. 簡単に言えば、損失コストとその確率（期待値）によって経済的に考えることである。高速道路の通行料も経済的な計算によって決まっている。
- Q. そのような計算は簡単にできるのか。
- Q. この委員会で議論することとは違うと考える。耐震性能を区分して、そのキーワードとして重要度を挙げておけばよい。
- A. しかし、具体的にやらないと重要度は決められない。
- Q. 具体的には、新幹線を重要なもの、在来線をそうでないものとして分けておいて、地震がきたら、まず新幹線を通し、次に在来線を通すということか。
- A. そのような細かいことではない。どのような橋がどれくらい重要かをしっかり認識していないと、基準の良い提案ができないということだ。
- A. 重要度に関する議論はここまでにして、日を改めて議論したい。重要度に関する考えを文章によってまとめてきていただきたい。
- Q. 土木学会でも信頼性に関するところで、重要度が議論されているのではないか。
- A. そこでは、重要度をリスクから決めるということが将来の設計基準のあるべき姿として当然の事ととらえられている。また、リスクマネジメントも既にビジネスとして成り立っている。篠塚先生も日本で篠塚研究所を作られている。必要ならば、リスクマネジメントについて、この委員会でプレゼンテーションしてもらってはどうか。
- Q. 構造物の重要度を考えるとき、橋をイメージするのか。
- A. 橋に限定せず、鋼構造物全体としたい。ただし、具体的に考えるときには橋に限定される可能性もある。
- Q. 資料Ⅰ-1-6にある耐震性能3は、建築では人命保護という明確な考えによって決められている。それに対して、土木構造物では明確な考えはあるのか。土木構造物の耐震性能はどうあるべきかを議論する必要がある。耐震性能3でただ崩壊しないというだけで、復旧に長期間かかることが本当にいいのか。
- A. 例えば、橋ならば崩壊しないは、落橋しないということではないか。
- Q. 倒れなくても再建しなければならないようでは、崩壊と同じではないか。費用を考え、再建の補修のどちらが合理的かで性能が決まってくるのではないか。
- A. その通りである。全ての要因をコスト換算するのがよい。
- Q. しかし、地震がいつ起こるか分からないので、その将来コストの議論が受けられ収束するかどうか分からない。
- A. 現状でも暗黙の内に将来コストを決めて設計している。現状の構造物のリスクを逆算して、それをもとに議論すればよい。
- Q. 実際に壊れることを前提として設計することはできるのか。設計どおりとしても、壊れてしまうとマスコミは大きく扱う。
- A. 積極的にリスクの情報を公表し、判断を受けるべきである。
- Q. 影響の大きいリスクを示して、耐震性能を区分することができるだろうか。
- Q. 具体的に耐震性能3で示される条件は何か。
- A. 崩壊するかしないかということが、性能ということにマッチしているかが疑問である。
- Q. それは機能いう事か。耐震性能3では機能を完全に失っているが、他への影響を避けるために落橋しないということではないか。
- A. 落橋によって下の道路を塞ぎ、街の機能が失われることが悪いというようなことから耐震性能区分が議論されるべきである。倒れてはいけないという理由をどこかに示しておくべきである。
- Q. 耐震性能区分の意味も議論する必要があるというところであるが、いくつに分けるかということも難しい。例えば、新技術の報告書では4つに区分し、それに対して残留変位の許容値を与えているが、この値が妥当かどうかは明確になっていない。
- Q. 耐震性能3では、崩壊はしないが機能を失っているとなっているが、崩壊しないとはどういう状態を想定しているのか。
- A. 橋の崩壊は落橋である。橋脚が崩壊すれば落橋するか、ほぼそれに近い状態と考えられる。具体的には、残留変位が1/100を越えたものは崩壊としている。
- A. 終局状態（崩壊）の定義が曖昧のようなので、明確にしておく必要がある。
- Q. 耐震性能1～3を重要度に対応させることができるのではないか。耐震性能1は無損傷なので最重要ということではないか。
- A. 想定地震動が、耐震性能1はレベル1地震、耐震性能2、3はレベル2地震で異なる。重要度はレベル2地震に対して定められる。

Q. 耐震性能は、地震動の大きさに無関係に決めるべきではないか。

A. 性能は、外力を想定しないと考えられないと思う。

A. 耐震性能1は最低水準であって、耐震性能2, 3と平行に書くから分かり難くなるのではないか。

Q. 設計者には必要ないかもしれないが、設計基準を作る者は与えた耐震性能の信頼性を押さえておかないと決められない。そうしないとフォーマットとか安全係数を決められない。

A. 限界状態設計法の安全係数を決める根拠を明確にすることであるが、難しいかもしれない。

6. 作業分担

配布資料を委員で分担して読み、次回の委員会で説明してもらうこととした。

(1)機能保持を考えた終局耐震設計法(建設省・総プロ関係) = 山尾委員

(2)構造物の重要度の考え方(「大震災の教訓を活かすために」) = 青木委員, 山口委員

(3)性能照査型設計法

コンクリート標準示方書 = 中村(聖)委員

構造工学シンポジウム・パネルディスカッション = 加藤委員

堺論文 = 市川委員

コンクリート工学 = 矢幡委員

(4)耐震設計における安全性水準 = 藤田委員

7. 「鋼構造物の非線形解析と耐震設計への応用」に関するシンポジウム

宇佐美委員長より、上記シンポジウムの開催と論文募集要項について説明があった。

このシンポジウムは、前年、武蔵工大で行われた「鋼製橋脚の非線形解析と耐震設計への応用」の2回目として開く。タイトルを鋼製橋脚から鋼構造に変えて、土木学会・鋼構造委員会の元でこの小委員会が担当する。学会誌4月号に会告を出すように準備しているので、みなさんにご協力願いたい。

Q. 免震は含まれないのか。

A. はっきりするために、タイトルを耐震・免震設計に変える。

Q. 構造工学シンポジウムや鋼構造シンポジウムの論文締め切りが近いが。

A. あまり多くの論文は期待していない。論文は30~40編程度で、討議の時間を長くとりたい。

第2回 第1分科会 会議議事録

日時：平成10年4月4日(土) 9:30~12:30

場所：日立造船(株)東京支社

出席者：宇佐美委員長，伊藤主査，青木，杉浦，奈良，山口，山尾，市川，加藤，中村(聖)，藤田，
矢幡，織田，西野(オブザーバー)
以上14名

- 資料：I-2-1 第2回議題
I-2-2 第1回 第1分科会 会議議事録
I-2-3 建築の新構造設計体系について [資料I-1-2要約]
I-2-4 構造物の重要度の考え方
I-2-5 コンクリート標準示方書・耐震設計編 [資料I-1-2要約]
I-2-6 性能照査設計への期待 [資料I-1-2要約]
I-2-7 性能照査型設計法のゆくえ [資料I-1-2要約]
I-2-8 建築における性能設計 [資料I-1-2要約]
I-2-9 ISO2394-General principles on reliability for structures
I-2-10 ISO2394-構造物の信頼性に関する一般原則 [資料I-2-9の邦訳，訳者：清水建設]
I-2-11 市東，星谷：上水道システムのリスクマネジメント，土木学会論文集，No.584/
I-42,pp.201-213, 1998.1
I-2-12 市東，山本，星谷：上水道システムの地震リスク評価，土木学会51回年次講演
会概要集，I-B370，平成8年9月
I-2-13 水谷，中村，下野，亀村：確率論的アプローチによる地震リスクマネジメント
(SRM)手法の提案，土木学会51回年次講演会概要集，I-B369，平成8年9
月
I-2-14 中村，水谷：地震リスクマネジメントにおけるイベントツリー解析，
JCOSSAR'95論文集，pp.75-80.
I-2-15 (社)日本建築学会：建築および都市の防災性向上に関する提言—阪神・淡路大
震災に鑑みて—(第3次提言)，建築雑誌/Vol.113, No.1418/1998年2月
I-2-16 緑川：建築構造基準の性能規定化とは，鉄鋼技術(STRUCTURE)，1998.2
I-2-17 座談会・性能規定化と構造設計，建築雑誌/Vol.113, No.1418/1998年2月
I-2-18 「アクセプタブルダメージ」とは何か，NIKKEI ARCHITECTURE，1995年7
月17日号，およびその要約
I-2-19 保有(耐震)性能と重要度(要求性能)の区分について
I-2-20 西野文雄：鋼構造物の耐震性(サクラダ技報No.9)，耐震優先の高速道設計(読
売新聞1995年2月14日)

議事：

1. 耐震設計の論点

西野先生より耐震設計を議論する際の問題点について伺った。

1) 費用対効果

耐震設計の水準は「費用対効果」によって決まると考えなくてはならない。岩黒島橋のときに端部に弱いスパンを作ることを提案したが，少ない費用で橋全体の耐震性を高めることができる。

2) 重要度

重要度は，費用対効果によって責任技術者が決めなくてはならない。設計基準において1級国道はすべて重要と決めてしまうのは，費用対効果を無視するもので良くない。全体を考えて何%を重要に区分

するというような議論が必要である。

3) インクリメンタルコスト

阪神・淡路大震災のとき、一般道路はほとんど無被害であった。それに対し高速道路などのアクセス道路が破壊したため、混乱が引き起こされた。道路全体を考えれば、高速道路の耐震性を高めるためのインクリメンタルコストは小さいので、兵庫県南部地震級の地震に対しても使用性を損なわないようにすることも合理的な考え方である。

4) プロジェクトコスト

東名・名神は非常に重要な道路であるが、耐震上問題となる高架橋は数%である。プロジェクトコストを考えれば、高架橋の耐震に費用をかけることは問題ではない。また、新幹線も非常に重要な鉄道であり、重要性を考えればすべてをトンネルにするのもよい。

5) 情報公開

設計基準は最低水準を定めておけばよく、それを上回る耐震性能が要求されるときにコストを考えるのがよい。このとき要求性能の決め方が会計検査において問題になると思われるので、この決定方法を研究しておく必要があるだろう。また、耐震性能は明確に公開しておく方が問題は少ない。性能表示の問題例を挙げると、原子力発電所は重要で全く壊れないかのように思われているが、2次系配管はメンテナンスを前提に設計されており故障が起こっても全く不思議はない。故障間隔が事前に公開されていないため報道で問題になると思われる。

2. 前回課題の説明

(1) 機能保持を考えた終局耐震設計法（建設省総プロ関係）

1) 建築の新構造設計体系について：資料 I-2-3（山尾委員） （前回資料 I-1-8,9 の概要）

構想の背景

仕様規定は新技術・新材料に対応できていない。

現行体系では、

要求性能（建築物の機能、用途、立地条件により要求される性能）

目標性能（要求性能を満足するために、設計で設定される性能）

保有性能（実際に建築物が保有する性能）

が明確でない。

3つの研究課題（目標性能設定の技術、保有性能の評価技術、新設計体系が機能するための制度）

構想の内容

性能評価分科会：基本構造性能、基本性能（日常的）、性能評価の原則（工学的）、性能評価法、性能の表示

目標水準分科会：キャリブレーション、バックグラウンドリスク

社会機構分科会：設計、工事監理、建築確認、検査、建築士、技術規準

質疑応答

Q. 図-2のフローの中で「外力の設定方法」という項目があるが、外力は最大を想定するのが原則である。このフローでは最大を想定しないかのように思われて好ましくない。

A. 列車や自動車のように最大重量を定めて、外力を規制することも考えられる。

2) 建築の性能設計関連の資料：資料 I-2-16（宇佐美委員長）、 資料 I-2-15,17（伊藤主査）

資料 I-2-15

- ・建築学会の第3次提言のうち、「A. 建物の耐震安全性の向上」である。提言の全文は、建築学会のホームページなどに掲載されているので参照していただきたい。
- ・この資料の最後のページには、耐震メニュー（要求性能の区分）の案がまとめられている。機能損傷は4段階、この損傷区分と5段階の地震動強さを組み合わせて、5等級の耐震性能を与える。

資料 I-2-17

- ・性能規定化に関する座談会を収録したもので、ざっくばらんな意見が述べられているので参考になると思う。
- ・内容は、法の精神と構造設計、性能規定化移行への要因、法規制と構造設計、構造設計者の資質・能力、承認設計法の位置付け、建築主にとっての性能規定化。

資料 I - 2 - 16

- ・この論文は、建築基準法の改訂の背景を説明している。この骨子は、必要最低限の性能を規定したもので、よく話題にされる性能設計とは異なる。レベル1, 2地震動を考える。(道示と同じである)
従来の保有水平耐力法に代わる新たな設計ルートとして、より精密な方法(1自由度系に縮約した上、等価線形系に置き換え、応答スペクトルから最大変形を求める方法)を示している。

質疑応答

- Q. 建築と土木の違いが表れていると思う。建築物は土木構造物に比べて公共性が小さいので、法で要求するのは最低限の性能になる。
- A. (耐震設計に関して) 建築基準法改定の骨子は、既に改訂された道示と余り変わらないようだ。
- A. すぐに理想の性能設計に移行することは難しい。まず、第一歩として現実的な改訂になるのだと思う。

(2) 構造物の重要度の考え方

1) 構造物の重要度の考え方：資料 I - 2 - 4 (青木委員)

①重要度とコスト

- ・重要度は損失コストの大小から決定できる。
- ・損失コストは、a 人命の損失, b 構造物の損失, c 社会的損失, の和からなる。
- ・損失コストはシンクタンクなどに依頼すれば、答えが得られる。

②震災直後のコスト

- ・都市高速道路のようなライフラインは、震災直後に近いほど、その価値が大きくなる。

③鉄道構造物の特殊性

- ・鉄道構造物は損失コストが非常に大きいので、(崩壊しなくても)大変形を許すような耐震設計を適用するのは問題である。

④重要度と破壊形式

- ・様々な破壊モードを想定し、補修方法の検討を行っておく必要がある。
- ・鋼製橋脚の場合、リブ間の局部座屈は余り問題でなく、鋼板を当てるだけの補修でよい。

質疑応答

- Q. 鋼板を当てるだけの補強で永久に使えるのか。
- A. 実験で確認しており、問題はない。
- A. 局部座屈は後座屈強度が期待できるので何もしなくてもよい。(地震直後で)不安があれば交通量を多少制限するだけでよい。
- Q. レベル1地震のように耐用年数間に起こる可能性が高い場合はよいが、レベル2地震のように確率が非常に小さいものに対して、損失コストの議論が受け入れられるのか。
- A. 重要度を決めるための資料として、コストは不可欠である。
- A. 責任技術者が重要度を決めるときには、何かの基準が必要になるだろう。
- Q. 耐震性能を選ばせることが、重要度を定めることと同じではないか。(設計基準では耐震性能区分を示しておけばよい)
- Q. 道示では1級国道を重要としているが、コストの概念が入っていないのではないか。
- Q. 資料にある「損失コストの算定式」は具体的に使うことはできるのか。
- A. できるはずである。
- A. 民間では既に確率論的な考え方を取り入れているところもある。
- Q. 阪神大地震の教訓を生かし、構造物の重要度を区分し、重要な構造物はより強くすることが必要ではないか。
- Q. 先ほどの式は、コンセプトだけでは実際に適用できないのではないか。
- Q. 損失コストはリスクであって、それが重要度と必ずしも等しくないのではないか。
- A. 完全に等しくはないが、リスクの大小によって重要度を定めるので、ほぼ等しいと言える。

A. 重要度は、リスクより上位の概念のように思われる。

2) アクセプトブルダメージ：資料 I-2-18 (山口委員)

- ・現在のところ、容認できる損傷レベルに対する社会的合意は非常に不明瞭
- ・次の事項について、共通認識を作り上げる必要がある。

①どの程度の被害が生じるか、②建物に求める性能は何か、③性能アップのコスト、④ダメージのコスト、⑤社会的ダメージの視点

(3) 性能照査型設計法

1) コンクリート標準示方書・耐震設計編：資料 I-2-5 (中村委員)

- ・想定地震動＝レベル 1, レベル 2
- ・耐震性能区分
 - 耐震性能 1：補修しないで使用可能 (残留変形が小さい)
 - 耐震性能 2：補強を必要としない (耐荷力低下せず, 残留変形が許容範囲)
 - 耐震性能 3：崩壊しない (自重, 上載死荷重などに対して安定)
- ・耐震設計の目的
 - レベル 1 地震に対して, 耐震性能 1 を満足
 - レベル 2 地震に対して, 耐震性能 2 または 3 を満足

質疑応答

Q. 「補強は必要としない」の場合でも補修はするのか。

A. 補強は耐震性能を向上させるもので、補修は耐震性能を回復するための処置ということではないか。鉄道でも同じようなイメージか。

A. そうである。

A. (このような耐震性能を考えるならば) 具体的な工法のイメージがないと検討できない。

Q. 塑性率, じん性率の用語の使い方が一般と違う (コンクリート標準示方書では, 塑性率＝最大応答変位を降伏変位で除した値, じん性率＝終局変位を降伏変位で除した値)。ここで言う, じん性率が部材の塑性率であり, じん性率は材料の塑性変形能力を表す場合に使うのが正しいと思う。

Q. (コンクリート標準示方書) では明確されていないようであるが, 重要度は必要である。

A. (構造物の重要度を定める) 計画基準と構造物の設計基準を分けて書けばよいのではないか。

Q. 基準ではミニマムスタンダードを定めておけばよく, 重要度に応じてそれを上回る設計をすればよい。

A. 示方書や基準, 標準という言葉で, 内容が違ってくる。

A. 公団や公社の基準は, 道示を上回る内容を定めているのだろう。

3. 次回の予定

5月22日(金) 16:00~19:00

土木学会 図書館7号会議室

第3回 第1分科会 会議議事録

日時：平成10年5月22日（金） 16:00～19:00

場所：土木学会 図書館7号室

出席者：宇佐美委員長，伊藤主査，杉浦，奈良，依田，市川，加藤，中村（聖），藤田，矢幡，織田，
以上11名

- 資料：I-3-1 第3回議題
I-3-2 第2回 第1分科会 会議議事録
I-3-3 睦好：コンクリート構造物（土木構造物）の耐震設計に関する最近の動向
I-3-4 ISOの組織と日本の取り組み，TC98（構造物の設計の基本）についての概略説明
I-3-5 ISO2394の概要
I-3-6 岡村：性能照査型基準について—耐震設計— [資料I-1-15要約]
I-3-7 内田：これからの構造設計を考える—性能照査型設計にむけて
[資料I-1-11要約]

議事：

1. 前回議事録の確認と修正について

議事録にあった「補修」「補強」の定義を以下のように修正した。

- ・補修：耐震性能（強度および変形性能）を元に回復させること
- ・補強：耐震性能（強度および変形性能）を向上させること

耐震の場合には「補修」「補強」は強度のみでないことに注意する必要がある。また，その他の用語についても定義を明確にしておかないと議論がかみ合わないことがあると指摘された。

2. 前回課題の説明（第2回会議の続き）

（1）性能照査型設計法

1) 構造工学シンポジウム・パネルディスカッション：資料I-3-7（加藤委員）

（株）日建設計・内田氏メモ

- ・建築構造設計では構造性能が不明確
- ・施主に分かり易い構造性能のメニュー
- ・基本構造性能：1) 日常の機能性・使用性，2) 安全性，3) 外力に応じた損傷度・補修性
- ・外力が自然現象の場合，性能評価の精度に限界
- ・施工監理も重要
- ・仕様規定は，性能設計の一つの選択肢（仕様規定でも性能指向の設計が可能）

建設省・土木研究所・西川室長メモ

- ・次期道示の改訂に性能設計の概念を盛り込む
- ・要求性能の明確化
- ・ライフサイクルコストの概念

質疑応答

Q. 内田氏の仕様規定で性能指向設計が可能というのは，どういうことか。例えば，ある種の仕様規定では，その根拠となっている耐荷力曲線などがあれば，それを出すということか。

A. そのような事かもしれないが，パネルディスカッション用の簡単なメモなので具体的などころまでは分からない。

Q. 規定の背景が分かっているならば，性能設計のフォーマットも案外，簡単なのかもしれない。

A. 性能設計の規準は簡単かもしれないが，性能設計になったからといって急に新しい設計法（計算法）が出てくるわけではないし，多くの技術者は対応できないと思う。建築雑誌に掲載された座談会（資

料 I-2-17) にもあったように、対応できる技術者は数%にすぎない。まずは、従来型の設計法をマニュアルとして示し、それを使ってもよいし、新しい手法を使っても良いとの 2 本立てで進んでいくのではないか。さらに、保有性能に比べて、機能や用途によって決まる要求性能の基準がまだまだ不明確で、この点でも性能設計は難しいと思う。建築の方では要求性能を決めるためのシナリオの検討が進んでいるようであるが、土木の方ではシナリオが非常に不明確である。

Q. 形式的には、性能設計の規準はそれほど難しくはないのではないか。

A. この後、説明する堺氏の論文では、限界状態設計法の形式は既に性能設計になっているという見方をしている。このとき、性能設計の問題点は断面をどうやって決めるかということだと考えている。つまり、性能設計の手法は、設計されたものが性能を満足しているかどうかを照査することが主で、何も無いところから断面を決めることは難しいとイメージしている。

Q. 例えば、2 段階耐震設計の 1 段階目は断面決定法で、2 段階目は照査法ということか。1 段階目が無しで、2 段階目だけで断面を決めようとするのは難しいかもしれない。そうすると、1、2 段階の併用にならざるを得ないので、従来型と変わらないことになってしまう。

A. 1、2 段階は要求される性能が違っており、それを示す量が許容応力あるいは変形性能となっていると考えればよい。(断面決定法と照査法という見方をしなくてもよい)

2) 堺「性能照査型設計法のゆくえ」: 資料 I-2-7 (市川委員)

(前回資料 I-1-12 の概要)

・性能照査の最大の利点: 全システムを同一の基本コンセプトで扱える。

・これまでの設計法も多かれ少なかれ性能照査の概念に従っている。

・性能照査型設計法の系譜

欧州コード: 広範な照査技術が必要であり、各種の安全率が問題。

ISO/TC71: 全世界が受け入れ可能な基本原則 (レベル 1) かな成る。各国で詳細なレベル 2 の規準を作成

土木学会コンクリート委員会: コンクリート標準示方書耐震設計編

RILEM TC 130-CSL: コンクリート構造物の耐久設計

Aachen ワークショップ: コンクリート構造物の寿命設計

・国内の最近の動向

土木学会コンクリート委員会: 性能照査型設計法の研究

JCI 研究委員会: モデルコード作成, 構造設計と耐久設計の融合

JASS 5 (日本建築学会): 耐久性基準強度を考慮

建設省総プロ: 新建築構造体系の開発

運輸省鉄道技術基準の改正: 規制緩和, 仕様を詳細に規定する基準から必要最小限の性能を定める基準への移行

・性能照査型統合設計法の検討

導入の利点: ①設計の自由度拡大, ②技術の発展レベルに応じた合理的設計法が可能, ③新技術の適用が可能, ④構造・耐久性・景観・施工を統一的に扱える, ⑤コストダウン

照査レベル: この設計法の本質は照査技術にある。モデル化と解析法および設計式の精度により 3 つのレベルに区分①マクロレベル, ②メゾレベル, ③ミクロレベル。

質疑応答

Q. 性能設計の英訳は Performance based design であるが、それはヨーロッパでは限界状態設計法と同じであり、Reliability based design と同じものと認識されているようである。したがって、欧州コードのような信頼性理論に基づいて安全率を決めた設計法のことを Performance based design と言っているのではないかと理解している。日本では「性能」という言葉から性能を決めることに関心が行っている。先程の言葉の定義と同じで、明確にしておかないと外国人と話をするとき議論がかみ合わないのではないか。

A. 重要な問題だと思う。

Q. ヨーロッパの各国の基準は、実際に信頼性理論に基づいた設計法になっているのか。

A. Eurocode はそうなっている。

Q. 限界状態設計法のフォーマットで基準を作ろうとしても、なかなか安全係数を決めきれないが。

A. 確率的に Pf まで求めるところまで書いているものなど色々なレベルも考えられるが。

Q. 以前 IABSE に参加したときに、信頼性理論に基づいた設計法の論文もたくさんあったが、各国の基準のレベルになったときには、そのような設計法になっているのかよく分からなかった。したが

って、まだ研究段階なのではないかと思う。

- A. Eurocode は信頼性に基づいたものになっている。まだ、議論はあるようだが、2000年くらいにはヨーロッパの統一基準を作るようである。
- Q. 堺さんの論文を読んだところでは、信頼性は本質的な問題ではないという印象を受けた。
- A. 堺さんと直接話をしたところでは、信頼性を重要な問題と考えられているようである。
- Q. ISO と Eurocode はリンクしているのか。思想的には同じなのか。
- A. 同じである。委員会の委員は半分くらい兼任している。設計基準の信頼性に関するコンセプトはこれで、このコンセプトに従って鋼構造とかの基準ができていくはずである。
- Q. β などを使って、統一的にやるということか。
- A. そうである。構造物の重要度とか各国の状況に応じて違ってくる。
- Q. これが、堺さんが言われる各種の安全率が問題になるということになるのか。
- A. そうである。
- Q. この委員会で話題になっていることは、性能をどこに置くかということではないのか。その性能の種類によって、安全率をどうするのかという議論が出てくるのではないのか。日本では新技術や新材料の導入し易くするために、仕様規定の反対のものとして性能設計が議論されているように思う。
- A. 建築の方は、そういう議論になっている。
- A. それは、性能照査ではなく性能規定ということだと思う。
- Q. そういう意味では、許容応力度法も性能照査法の1つだと思う。性能照査型の基準を形だけ簡単に作ろうと思えば、今の設計法を性能の表現に置き換えればよい。性能をどこに置くかという議論とフォーマットをどうするかという議論は分けておく必要がある。
- A. Performance based design ということで、ヨーロッパの人と話をするときには食い違う可能性があることには注意しておいた方がよい。
- Q. 仕様規定の対極として性能設計を議論しているが、Performance based design 自体は限界状態設計法のフォーマットが既にあって、それに Reliability を取り入れて安全係数を定める所に進んでいるということか。
- A. そうである。
- Q. これは重要なことである。Performance based design の概念が Reliability を取り入れたものだとすると、限界状態（保有性能）だけでなく要求性能も平均値だけでなくばらつきを求められるようにしておかなくてはいけない。
- A. 構造解析係数であるとか、各種の安全係数は必ずばらつきを考慮して定める必要がある。
- A. 抵抗は耐久性によって変わり、そのばらつきも変わってくる。設計で考慮するばらつきも建設後にはそんなにばらつくのかなとも思う。一方、荷重も時代によって変わってくる。建設時だけでなくライフサイクルで考えるという意味において Performance ではないか。実際にそのような研究も出ている。安全率は時間の関数で、基準は次第にその方向に進んでいくと思う。
- Q. 西川室長が言っているライフサイクルの概念か。
- A. ライフサイクルは陰の形では考慮されていると思うが、それを構造物の廃止直前までを含めて陽な形で表すということか。今、そこまでは非現実的かもしれないが、 β インデックスを使うぐらいは可能なかもしれない。
- Q. ???はそのレベルなのか。
- A. 部分安全係数である。
- Q. 保有性能の部分係数を決めることはできそうだが、要求性能の部分係数を決めるの難しい。
- A. 自分で調べたわけではないが、イギリスの鉄道で Output based design というあるそうだ。信頼性とは余り関係ないが、結果だけで性能を満たしているかを判断することらしい。
- A. 今までの議論は重要なことである。性能は確定論的に決めてしまうのではなくて、ばらつきを考慮しなくてはいけないということである。またフォーマットも何でもよいというわけではなく、限界状態設計法にしばられるということだろう。
- Q. 限界状態設計法は、新技術・新材料に対する自由度はあるのか。(限界状態設計法でも詳細な基準になると)仕様設計の様になってしまわないか。仕様設計と性能照査型設計の意味が混乱している。
- A. 規定が細かくても、そうしなければならぬという書き方でなければ性能設計と言えるのではない。また、性能が先にあって、それを満足する仕様がみなし規定としてあってもよい。
- Q. ヨーロッパでは仕様設計と対比させて性能設計を議論しているのか。そのような議論は日本だけではないのか。
- A. ヨーロッパでも、昔そのような議論があったのかもしれない。
- A. ISO はコードライターのためのコードという位置づけなので、このような Performance・信頼性に基

づくフォーマットが必要になり、安全性確保は各国によって定めることになっている。文面には、はっきりは書いていないが各国でマニュアルを作りなさいとも言っている。

A. この辺りの言葉の定義をしっかりと、議論しているときに何を言っているのか誤解のないようにしないとイケない。

3) コンクリート工学論文：資料 I-2-8, I-3-6 (矢幡委員)

(前回資料 I-1-15 の概要)

a) 岡田：建築における性能設計 (建築の耐震設計)

- ・ 1968 年十勝沖地震：同じ耐震基準でも被害に差
- ・ 1981 年建築基準法改定：保耐法導入、一貫プログラムの功罪
- ・ 1995 年阪神・淡路大地震：被害に大きな差、性能設計への転換必要
- ・ 耐震設計における課題：性能評価法、インプットデータの整備、要求性能の決定

b) 岡村：性能照査型基準について (耐震設計)

- ・ 土木学会コンクリート委員会：2005 年に性能照査型示方書、マニュアル刊行予定
- ・ 一般的事項＝耐震設計基準、具体的事項：耐震設計マニュアル
- ・ 耐震設計基準で示すこと：設計地震動＝レベル 1, 2 耐震性能：1～3
- ・ 耐震設計マニュアルで示すこと
構造のモデル化：耐震性能 1＝弾性、線材モデル、耐震性能 2, 3＝非弾性、3次元有限要素構造細目

質疑応答

Q. 資料 I-2-8 にあるインプットデータの整備とは何のことか。

A. 地震入力のことである。

Q. 同じ基準で設計されても実際の被害に差があったことが問題で、それをなるべく正しく評価しようとするのが性能設計の目的ではないのか。

A. そのとおりである。

Q. しかし、地震波は色々あり得るので様な被害にすることは難しいと思う。

A. 地震波については土岐先生の委員会でも議論されている。

Q. 説明していただいた建築学会の議論と建築基準法の改正とは必ずしもリンクしていない。前回説明があったように建築基準法の改正は性能規定化といって、最低限の性能しか要求していない。

A. 建築の耐震基準では構造が与えられると D_s 値が自動的に定められたが、改正では自分で計算するようになった。道示で保有水平耐力を計算するのと同じである。しかし、要求されているものは最低水準のものである。

4) 耐震設計における安全性水準 (藤田委員)

a) 構造設計基準の未来像 (資料 I-1-17)

- ・ 構造物の安全性を合理的、統一的に定めるには信頼性設計法が必要である。
- ・ 荷重、材料、構造解析にはそれぞれ不確実性があり、それらに対して基本安全係数を定める。
- ・ 許容リスクに応じて、重要度係数を定める。
- ・ 安全係数は基本安全係数と重要度係数の積からなる。
- ・ 基本安全係数や重要度係数は設計基準を作るときに定め、設計者にはその係数を決めるまで自由度は与えない。(安全性水準を設計者によってばらつかせないため)
- ・ 出来上がった構造物の安全性確保における基準作成者と設計者の役割を明確にしておく必要がある。

b) ISO2394 関係 (資料 I-2-9, I-2-10, I-3-4)

① 審議の状況

- ・ ISO では各種の規格を検討する多くの専門委員会 (Technical committee: TC) があり、構造物の設計は TC98 で審議されている。
- ・ 日本における TC98 の審議は建築・住宅関係国際交流協議会の中の分科会で行っている。ほとんど建築関係の方であるが、土木からはオブザーバーとして筑波大の佐藤先生と藤田が参加している。
- ・ 分科会の審議内容は、ISO2394 (構造物の信頼性照査の一般原則) と ISO3010 (構造物への地震作用、日本が主査) である。
- ・ ISO2394 の審議は 1980 年に始まり、現在は最終国際規格案 (FDIS) として承認段階になっている。内容の修正はほとんどなく、近々、国際規格として発行されるだろう。

②ISO2394 の内容

- ・適用範囲：ISO2394 は基準作成者への基礎資料，構造物のあらゆる範囲，施工から維持まで，各国で変更可能。
- ・構成：限界状態設計の方針，確率論に基づく設計，部分係数形式など。
- ・要求事項：機能性，経済性．適度な信頼性により要求を満足．適度な信頼性は破壊コストやリスク軽減から判断する。
- ・破壊のレベルを区分し，また供用期間を定めて設計する。
- ・既存構造物の診断もこの基準に従う。
- ・序論では，構造全体の信頼性の概念が重要であると述べている。
- ・Annex E にはキャリブレーションの例が出ているので参考になる (E4.3)。
- ・Eurocode 1 は ISO2394 とほとんど同じである。
- ・関連することとして，構造工学委員会の構造設計国際標準研究小委員会では，2年後を目標に安全性確保という観点から国内の構造設計基準がどうなっているかを調査し，まとめようとしている。

質疑応答

- Q. 日本の審議団体では，通産省から建築学会に幹事が依頼されたのか．それで建築関係が主となっているのか。
- A. 建築学会ではなく，建設省の住宅局である。
- Q. 日本として最終案の承認はどこで行われるのか。
- A. まだ，はっきりしていない。
- Q. β インデックスと部分係数法のどちらを使ってもいいということか．部分係数法の式は荷重側(E.22)，抵抗側(E.23)に表されており，これは土木学会・鋼構造設計指針とスタイルが異なるようだが，コンクリート標準示方書とは同じスタイルか。
- A. 同じ様式だと思う．ただし，ISO では β インデックスが目標値になるよう(E.25)式により，キャリブレーションして部分係数を決めなさいと言っている。
- A. 鋼構造設計指針も基本的には，式(E.22),(E.23)と同じである．ただ，式(E.23)は係数 γ_{Rd} で割っているが，割り算を回避するために1以下の係数を掛けるようにしている．これは，AASHTO の様式にならったものである。
- Q. そうすると，鋼構造設計指針をこのスタイルに変えることは問題ないか。
- A. 問題ない． β さえ決めればよい。
- A. Annex E.4 には，許容破壊確率とその β ，構造物の時間依存しないあるいは時間依存する破壊確率の計算法も示してある。
- Q. この案はいつ頃，承認されるのか。
- A. ここ1～2年の間と思う。
- Q. この基準にどの位，拘束されるのか。
- A. 国内だけであれば拘束されることはないが，WTO 関連では準拠することを要求される可能性がある．安全性の水準は各国で決めてよいことになっている。
- A. 多少，なじみがなくてもアカデミックでやる範囲ではスタイルを合わせておいた方がいいだろう。

4) 地震におけるリスクマネージメント (伊藤主査)

- ・土岐委員会の幹事会でも話がでたが，地震，特に直下型地震のようなものに対してリスクマネージメントの考えは適用できないのではないかと議論になっている。
- ・直下型地震に対してリスクアナリシスをする，直下型地震は考慮しなくてもよいという結論が出がちである。
- ・リスクマネージメントの効用の議論はできるが，それをダイレクトに適用すると東京だけに安全の投資をすればよいということになってしまう。

3. 次回の活動

- ・他分野の先生を呼んで，話を聞く。
- ・分野としては，コンクリート，地盤，港湾，原子力，変電設備など。
- ・この委員会の目標についても議論しておきたい。
- ・次回の日程：7月17日(金)

第4回 第1分科会 会議議事録

日時：平成10年7月17日（金） 16:00～18:30

場所：土木学会 図書館7号室

出席者：宇佐美委員長，伊藤主査，青木，奈良，山尾，加藤，中村（聖），矢幡，織田，
以上8名

- 資料：I-4-1 第4回議題
I-4-2 第3回 第1分科会 会議議事録
I-4-3 耐震設計法の高度化のフレームワーク
I-4-4 耐震設計法の高度化のフレームワーク（鋼製橋脚に対する項目の例）
I-4-5 建基法改正後1年以内が変わる手続き規定（日経アーキテクチャ記事）
I-4-6 建基法改正の影響度Q&A（日経アーキテクチャ記事）

議 事：

2. 前回議事録の確認と修正について

- ・地震におけるリスクマネジメントの所で，直下型地震に対して何もしなくてもよいということではなく，正確にはリスクマネジメントにおいて直下型地震は考えなくてもよいことになりがちであるという意味である。
- ・性能設計における信頼性理論の位置づけについて堺さんの考え方を再確認しておく必要がある。

2. 重要度決定におけるリスクアナリシスおよび費用便益手法の適用性について（伊藤主査）

- ・直下型地震は発生確率が非常に小さく範囲が狭いので，通常のリスクアナリシスをする対象にならないという結果になるのが共通認識である。つまり，費用便益解析（CBアナリシス）をするとうェイトが非常に小さくなってしまう。
- ・また，費用便益には公平性を入れることが難しい。無理に公平性を取り入れるとすれば，便益にかける係数を東京1に対して地方を1以上とする手法がある。実際にドイツではそのような係数が地方別に決められている。
- ・しかし，神戸のような直下型地震に対して何もしなくてもよいという結論にはならないのであって，従来のCBアナリシスは適用できないということである。
- ・もし，計算しようとするならば国民の支払意志を算定できれば，これを重要度決定に適用できるかもしれない。しかし，将来的には可能かもしれないが研究段階で実用化にはまだ遠い。

質疑応答

- Q. 重要度決定に関わる問題は保険で扱うことができる。実際にJRでは拠出できる掛け金から総被害の1/10を補填できる損害保険契約をしたそうである。保険料率を決めるときに直接・間接の被害額を算定するので，保険料率が重要度を定めるときの参考になるのではないか。損害保険会社は算定法を公開しないが，保険料率を示すことができる。
- また，やる気になってシンクタンクなどに依頼しても直接・間接の被害額はすぐに計算できるであろう。ニュージーランドなどでは，人命も含めてそのような計算を示しているそうである。そこそこの精度の被害額が算定されれば，重要度決定の資料になる。
- A. それをやると，発生確率が非常に小さい直下型地震は考慮しなくてもよいとか，地方の構造物は重要でないので投資しなくてもよいという結果になる。
- Q. ある手法を適用すれば，そのような結果にならないのではないか。
- A. 計画系の人達に話を聞くと明らかにそうなのと言っている。公平性を確保するためには重み係数が必要になってくる。そうしないと，地方の高速道路はすべて造らなくてもよいという結論になる。
- Q. CBアナリシスのモデルが単純すぎるためではないか。
- A. 今の保険会社がやるような手法では，公共構造物の重要度は決められないというのが計画系の人達

の認識である。要するに国有財産は保険の対象にならず、国は私有財産に対して関与しないということである。

- Q. 新幹線が国鉄からJRに移ったように、所有がどこであるかということは新幹線の重要度に対して本質的な問題ではないと思う。国が判定すると曖昧になりやすいが、民間の保険会社が査定すればフェアにできるのではないか。
- Q. 直下型地震は発生確率が非常に小さいということがポイントだと思うが、保険会社はそれを考慮してやっているのか、それとも地震全般ということでは言っているのか。
- A. 商売でやっているのだから、当然考えているはずである。
- Q. それならば、保険会社に一度査定してもらってはどうか。ただし、それだけで決めるのではなくて参考値として使うべきだ。
- Q. 日本全体を範囲として重要度を費用便益でやろうとすれば、関東に投資を集中しないと効果はでないと思う。
- A. 今、建設や運輸で従来曖昧だった社会資本投資を、費用便益の係数を公開して決めようとするのが始まっている。ただし、国土の均衡発展のために掛ける重み係数はこれからだ。
- Q. それは重要度と関係してくるのか。
- A. 投資をするかどうかの判定のために、設計基準に書くところの重要度の議論とは違っている。
- Q. 重要度を保険のようにすべてを数値化した指標から決められるとは考えていない。例えば、信頼性理論を用いた安全係数の決定もすべて合理的にできているとは言えず、曖昧な部分もある。ただし、数値化できる部分、曖昧な部分を明確にしておく必要がある。重要度においても、このことを理解して、単純すぎるCBではなくて政治的に決まる公平性もできる限り数値化するという姿勢でいけば、意味のある重要度係数が求められると思う。
- A. 先程話した納税者の支払意志をアンケートにより調べるというのも、数値化しにくいものを数値化する手法である。
- Q. 個人の曖昧な感覚をアンケートで調べるのは、余り科学的な方法ではないのではないか。
- A. 他に方法がない。今、分かっている情報を公開して最終的に納税者の意志を調査するのが妥当で、そのためのアンケート方法がいろいろ考えられている。しかし、これは時間がかかりそうである。
- Q. もう1点、先程議論があったように国の所有だと非常に曖昧であったので、保険会社がやっているような数値の評価を少しでも取り入れた方がよいということをつけ加えておきたい。
- A. その通りと思う。しかし、現時点では責任を持っている管理者が決めればよいという立場になっている。それから、この委員会の状況から重要度に関して課題を挙げることはできても、膨大な研究をしてその決め方を提案するところまでは不可能であることを明確にしておきたい。
- Q. 不可能であっても手法を紹介するだけでも役にたつのではないか。
- Q. この委員会としては、色々な手法を紹介して、重要度を定める方向付けをするところでまとめたい。
- Q. 重要度は、いずれにしても決めなくてはいけないのではないか。
- A. それは第2次提言にも出ている。
- Q. 信頼性設計においても現状では安全係数をキャリブレーションによって決めることがあるが、統計データさえ集まれば破壊確率を評価できる。同じようにデータさえ集まれば、社会的リスクを評価して重要度を定めることができる。方向としては、そちらに進むのではないか。ただし、現状ではどのようにすればよいのかを示しておかないと絵に描いた餅になってしまう。
- Q. どこかのシンクタンクに依頼して、ある地域ごとなどの社会的重要度が算定できたとうことで作業を進めることができる。例えば、東名の交通量は分かっているので、それがストップしたとしてJHの損害を計算することができ、JH以外が被る間接的な被害もある程度は計算できる。
- A. 議論にきりがないので、資料を出していただいて、将来の方向と現状で出来る方法をきちんと分けて議論したい。ただ、ここでのコンセンサスとしては、従来曖昧だった重要度を、情報公開して決めていく必要があるということだろう。
- Q. もう1点加えたい。重要度は性能設計とリンクしている。建築に比べ土木構造の機能は単純なので重要度の区分を与えれば、性能設計は簡単にできるのではないか。
- Q. 地震時に守りやすいのは高架橋より地面の道路なので、高速道路だから重要だという議論はおかしいと思う。そうすると、あらゆる道路すべてを考えなくてはいけないので本当にできるのか。
- Q. 東京都ではやっている。地域ごとにやろうと思えばできる。
- A. 現実には、道路、鉄道、港湾のどれが重要かというようなことはやる気はないようである。最初からあきらめている。
- Q. 東京を対象に、ある橋が落ちたら迂回路がこのようなになる、ということから重要性が議論されている。

- Q. 1つの橋だけなら簡単と思うが、同時に多くの橋を考えなくてはいけないので難しいのではないか。
Q. 電力などでは複雑なネットワークをモデル化して計算できているので、同じように可能である。

3. 耐震設計法の高度化のフレームワークについて：資料I-4-3（織田委員）
資料I-4-4（宇佐美委員長）

(1) フレームワーク

耐震設計法を高度化するために必要な基本事項と研究項目は以下のように考えられる。

- 1) 要求性能の設定
 - ・耐震性能区分、重要度、想定地震動
- 2) 保有性能の設定
 - ・限界状態の明確化、残存性能の評価
- 3) 性能評価
 - ・解析ツール、標準実験手法
- 4) 性能照査
 - ・照査事項の峻別、限界状態設計法、安全係数
- 5) 情報公開

前回までの委員会での議論は、耐震性能区分、重要度、限界状態設計法に限られていたので、その他の項目についても進めていく必要がある。

(2) 鋼製橋脚における基本事項の例

- 1) 要求性能の設定
 - 耐震性能区分：コンクリート標準示方書（1～3）、新技術報告書（A～D）
 - 損傷度の定義：新技術報告書（A＝大破、B＝中破、C＝小破、D＝無損傷）
 - 重要度・要求性能マトリックス：道示、鉄道、新技術報告書の例
- 2) 保有性能の設定
 - 限界状態の明確化：部材の変形能を越える変形、耐荷力低下、低サイクル疲労、アンカー一部の破壊、フーチングの破壊、基礎の破壊
 - 残存性能の評価：残留変位制限値
- 3) 性能評価
 - 照査事項の峻別：荷重－耐力、応答変位－変形能、残留変位－制限値、局部ひずみ－脆性破壊ひずみ
 - 解析ツールの整備：Pushover 解析、弾塑性地震応答解析
 - 標準実験手法：準静的繰り返し載荷実験、ハイブリッド実験
- 4) 性能照査
 - 限界状態設計法：フォーマット（ISO、鋼構造物設計指針、コンクリート標準示方書）
 - 安全係数：安全性水準、破壊確率
 - 承認設計法：仕様設計
- 5) 情報公開
 - 許容リスクの認識形成

質疑応答

- Q. 資料I-4-4の3ページに書いてあるように動的解析は要求性能を計算するものなのか。
A. 動的解析によって求められる最大応答変位などが要求性能になる。類似例としては、荷重によって生じる応力が要求性能であり、許容応力が保有性能である。
A. 4番目の照査事項として挙げている最大局部ひずみは骨組解析で求められる nominal なひずみではないので、局部ひずみと nominal なひずみの関係を求めておき、設計で使いやすいようにしなければならない。三木先生の話では、最大ひずみだけで低サイクル疲労の照査ができるようだ。
Q. 本当は繰り返し数に依存するが、例えばレベル1地震では比較的小ひずみで40回、レベル2地震では大ひずみで5回の繰り返しだとして、両方を満足するような鋼材規格を出そうとしている。そして、その鋼材をクリティカルな部位に使うことを提案しようとしている。また、構造詳細ごとに

局部ひずみを事前に検討しておいて、その構造詳細を使う場合には照査を省略できるように進めているようだ。

- A. それは仕様設計の道である。性能設計というからには、ひずみを照査する道も作っておく必要がある。
- Q. そうすると最大ひずみだけでは難しいのではないか。想定地震動によっては繰り返し数が違ってくる。
- Q. 資料 I-4-4 は鋼製橋脚の例だが、その他の幅広い鋼構造物に対して検討していくのか。
- A. 議事録にあったように、可能ならばやるということである。この資料を参考にして、ぜひとも作ってもらいたい。
- Q. あくまで耐震なので対象となるものは限られるかもしれない。橋脚の他では、上部構造の端部と塔状構造物くらいか。橋脚以外が対象になったとしても、資料 I-4-3 のフローは変わらない。
- A. フローで何か抜けていることがあれば、補足していただきたい。
- A. 資料 I-4-4 は鋼製橋脚だけを対象にしているので、システムの耐震を考えていない。
- A. フローの中で、低サイクル疲労は終局限界に含めた方がよいかもしれない。
- Q. 性能設計を前面に出すならば、ユーザーが使えるということから資料 I-4-4 の表 2 にあるような復旧のしやすさが重要になる。これまでは強度に力点を置きすぎていたが、破壊モードや復旧性を重視していく必要がある。資料 I-4-4 の p.1 (耐震性能区分、損傷度定義) と p.3 (力学的な量で示された照査事項) の表のリンクを重視するのが本来の性能設計ではないか。
- A. そのつもりで書いている。残留変位で代表した損傷度の定義は復旧期間を簡単なモデルで計算して定めた。
- Q. 残留変位だけでなく、鋼構造で局部座屈やクラックのような破壊の仕方によって補修方法や復旧期間が違ってくる。
- A. ここで考えている設計法では、そのような破壊が生じることは許していない。局部座屈が起こってもほとんど目には見えない程度しか生じない。ただ、局部座屈やクラックが生じなくても残留変位が大きくなる可能性があるので別個に照査し、これが損傷度の区分を与えている。
- Q. 実際には、要求性能や性能区分の選び方はマニュアルに決めてしまわないで、設計者が決めてもよいとするのか。
- A. 土木構造物では、行政がそれを決めるであろう。我々としては性能をどの様な量で表したらよいかというガイドラインを示しておけばよいというのが私の考えである。ここでは、どんな場合にも破壊が生じることは考えていないが、場合によっては局部座屈やクラックが生じてもよいというコンセンサスが得られれば、そのような設計法を作っても良い。
- Q. 設計法にも 3 段階くらいのランクがあって、重要な構造物には高度な解析を適用し、重要ではない構造物には設計費用をかけず、残留変位の照査もしなくてもよいような設計法があった方がよいのではないか。
- A. それは、仕様設計や見なし設計である。
- Q. 性能照査型設計法はまさにそういうことである。小さな構造物に対していつも高度な設計を求めることはできない。土工部などでは大破を許すような設計もあって、壊れても 3 日程度で復旧できれば良いというような考えもあるようである。
- Q. 鋼構造でもそのような柔軟性があったらよいのではないか。
- A. 先程も言ったように、局部座屈は生じないが残留変位が大きくなった場合に補修を考えている。
- Q. それだけでは、設計法として不十分ではないか。
- A. 局部座屈を許すような設計法が必要なら作ればよい。しかし、このときにはより高度な解析が必要になり、設計が非常に難しくなる。
- Q. だから、非常に重要な構造物には高度な設計をし、余り重要でない構造物には簡単な設計法を選ぶようにするべきだ。それから、信頼性設計を適用し、ばらつきを考えるならば設計で照査したとしても破壊する可能性もあるのではないか。全く無視してしまうのは、本当の設計ではないのではないか。
- A. 破壊する可能性が小さくないというのは、安全係数の決め方の問題ではないか。
- Q. 安全係数は、ある特性値によって決められたものなので実際とは別ではないか。
- A. 実際と全て一致しないかもしれないが、それをどうやって設計に入れるのか。
- Q. 設計荷重を越えた場合の破壊モードと補修方法を設計で想定しておくということである。
- Q. 確率は低いけれども設計荷重を越えた場合の壊れ方を考えて、それが望ましくない場合には他の構造を考えるというようなことまで視野に入れた設計法ではないか。
- A. そのような設計法は可能なのか。設計荷重以上を考えるのはもはや設計ではないのではないか。

- Q. 信頼性設計では、ばらつきを認めることが基本で、設計荷重を越えることもあり得ると考える必要がある。
- A. その確率が小さくないならば、確率が小さくなるように安全係数を上げるのが設計ではないか。設計法とは別のものとして、局部座屈の補修方法のようなものは書くことはできる。
- Q. 設計基準の中にも、「万一、壊れた場合に補修しやすい構造にしてください」というような精神を書くことは可能ではないか。
- Q. ただ、「補修しやすい構造にしてください」というだけでなく、もう少し技術的なことを入れた書き方で提示してはどうか。
- Q. 書き方は別にして、そこまで含めるとすばらしい設計法になる。
- Q. 想定以上の荷重が来ても破壊的にならないように色々考えるのがエンジニアのセンスということだと思うが、それが本当に設計法として可能かどうか。
- Q. 可能かどうかはこれから議論するが、本来、設計法というのはそういうものではないか。
- A. 具体的なイメージはわからないが、考えてみる。
- Q. 建造物のリアリティを破壊の最後まで再現するのは、システム全体の挙動もあって、今の技術レベルでは難しい。また、クラックのような破壊は止まらないので、それを許す設計はできない。もし、考えるとすれば redundancy で持たせることになるのだろう。
- Q. 現時点では細かく求められないけれども、そういうことを配慮するのが設計ではないか。
- Q. 部材の破壊はある程度わかるが、部材が逐次崩壊していった構造物全体の破壊に至るところは色々な影響があってまだ正確にはわからない。それがわかれば想定以上の荷重というものも考えられる。
- A. メカニズム形成もある程度は考えられる。局部座屈も考慮したさらに高度な解析が必要になるだろう。コンクリートの分野でも岡村先生が、レベル2地震に対しては非弾性3次元有限要素解析が必要になると言われている。

4. 今後の検討項目と役割分担について

役割分担（案）

1. 1) 耐震性能区分：空佐美，青木，伊藤，市川
 - 2) 重要度：青木，宇佐美，伊藤，市川
 2. 想定地震動：杉浦，伊藤
 3. 限界状態の明確化：奈良，山尾，中村，長井
 4. 機能保持限界：織田，矢幡，加藤
 5. 性能照査：藤田，依田，山口
 6. 情報公開：伊藤，北田
- （アンダーラインはまとめ役）
（欠席の委員については次回までに希望を確認する）

質疑応答

- Q. 「性能評価」が入っていないが。
- A. 他の分科会でやっているので含めなかった。
- Q. 「想定地震動」は、この委員会でやることがあるのか。
- A. 設計法を考えるとときに必要な情報を収集することを考えている。新しいものを考えようとしているわけではない。
- A. しばらく作業を進めていった後、希望が変わるかもしれないが、現時点はこれでいかがでしょうかということである。

5. その他

(1) その他の資料（織田委員）

1) 建基法改正の手続き（資料I-4-5）

・建築基準法の改正法は成立したが、施行は3段階となる。①29条廃止規定など公布日から発行、②確認・検査の民間解放など1年以内に施行、③性能規定など2年以内に施行。

2) 建基法改正の影響度 (資料 I-4-6)

- ・ 建築基準法改正の背景は、規制緩和、行政改革、国際化、阪神大震災、景気低迷である。
- ・ 建築基準法改正の内容は、確認・検査の民間解放、集団規定の緩和、中間検査の導入、性能規定化である。
- ・ 性能規定化により、建築確認は性能をチェックする事になる。実際には標準設計法を示し、それに即して設計されているかを確認することになる。したがって、仕様によらない設計でもほとんどが建築確認で済むことになる。
- ・ 日本建築センターの評定を受け大臣が認定する38条認定の仕組みは、新しいアイデアに対応するために残される。この評定機関も複数になる可能性がある。

Q. 認定機関が民間解放されるというが、どのようになるのか。

A. 建設大臣の指定機関ということだと思う。

A. 聞いたところによると、各県に認定機関を作るそうである。

Q. 土木の場合は、誰が性能を認定するのか。

Q. 実質、土研ではないか。

A. 性能照査型の設計基準だけがあっても、運用するためのシステムがないといけない。

Q. すべて、設計者に責任を負わせることはできないと思う。

(2) 次回の予定

日時：10月2日(金) 14時～

場所：土木学会

第5回 第1分科会 会議議事録

日時：平成10年10月2日（金） 14:00～17:00

場所：土木学会 図書館7号室

出席者：宇佐美委員長，伊藤主査，杉浦，奈良，山尾，依田，市川，中村（聖），織田，睦好（特別講師），以上10名

- 資料：I-5-1 第5回議題
I-5-2 第4回 第1分科会 会議議事録
I-5-3 睦好：コンクリート構造物（土木構造物）の耐震設計法に関する最近の動向
I-5-4 睦好：コンクリート構造物に求められる耐震性能，性能照査・検査法と限界状態
I-5-5 特集「学会提言とその後」，建築雑誌，1998年6月号
I-5-6 依田：鋼構造分野の取組み，ISOへの対応に関するシンポジウム
I-5-7 丸山：性能照査型設計法に向けて，ISOへの対応に関するシンポジウム
I-5-8 SEWC'98 アブストラクト（耐震関係）

議 事：

1. 前回議事録の確認

2. コンクリート構造物（土木構造物）の耐震設計法に関する最近の動向（睦好 埼玉大学教授）

（1）コンクリート関係の活動

- ・土木学会のコンクリート委員会では，200X年（5年後くらい）を目標に性能規定型の示方書を出す準備を進めている。まだ幹事会レベルで成果品は出てきていない。
- ・耐震・制振委員会があり，ここでもコンクリートの第3次提言をまとめているところである。
- ・PC技術協会においてもプレストレストコンクリートの耐震について来年の3月までに1つの指針を作ろうと進めている。
- ・地震工学委員会でも「川島 監訳：橋梁の耐震設計と耐震補強」をテキストにして講習会を開いており，ニュージーランドなどで使われているキャパシティデザインをベースにしたコンクリートの耐震について書かれている。

（2）「コンクリート構造物（土木構造物）の耐震設計法に関する最近の動向」資料I-5-3について

1) 道路橋示方書

- ・「表-2 鉄筋コンクリート橋脚の準拠基準別損傷度」：S39年以前の橋脚にAs, Aが非常に多く，総プロの成果を踏まえた耐震設計編が適用されたS55年以降の橋脚には，As, Aがほとんどない。したがって，新しい基準で設計された橋脚は地震に耐えられたのではないか。
- ・「図-4 設計水平震度の変遷」：0.2～0.4で余り変わっていない。ただ，H2年から地震時保有水平耐力の照査ということで標準値1Gを考慮するようになった。
- ・「図-1 道路橋の耐震設計の流れ」：H8年の耐震設計編。H2年では地震時保有水平耐力法を照査法としていたが，H8年では設計法として中に組み込んだ。
- ・「表-3 耐震設計で考慮する地震動と目標とする橋の耐震性能」：重要度に関して道示では，特に重要な橋（B種），標準的な橋（A種）に区別した。
- ・「図-3 地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度の標準値」：タイプI, IIの設計水平震度を地盤種ごとに与えた。これとエネルギー一定則を用いて等価水平震度を求める。

2) 鉄道構造物

- ・「表-4 鉄道におけるコンクリート構造物の設計基準および設計震度の変遷」：道路橋と同様にS58年以降に設計されたものは被害が少なかった。

3) コンクリート標準示方書

- ・S61年に限界状態設計法が採用された。
- ・「図-5 土木学会コンクリート標準示方書における耐震設計に用いる許容せん断応力度の変遷」：宮城県沖地震前までは約0.8Mpa(9-10kgf/cm²)を使っていたが、それ以降被害によって許容せん断応力度を落としてきた。
- ・「図-6 最小帯鉄筋比の変遷」：1980年以前は0.05%以下の帯鉄筋比だった。現在の0.2%に比べるとかなり小さい値であり、兵庫県南部地震においてせん断破壊の大きな原因となっている。

4) コンクリート標準示方書・平成8年制定耐震設計編

- ・レベル1, 2の地震動を考慮するということがコンセンサスが得られた。
- ・耐震性能は1~3に区分している。耐震性能2, 3は、「実際に区分できて機能するかどうか」についてかなりの議論がなされたが、最近ではコンセンサスが出来つつある。
- ・レベル1地震に対して耐震性能1を満足し、レベル2地震に対しては重要度に応じて耐震性能2または3を満足する。
- ・「図-7 エネルギー一定則の精度の検討」：エネルギー一定則の精度が余り良くないことは、ほぼ共通認識となっている。しかし他の簡単なよい方法がまだない。図-7は神戸海洋気象台の地震動に対して各種の復元力特性とエネルギー一定則を適用した場合の応答塑性率を比較したものである。コンクリート構造では、Tri-linearかDegrading Bi-linearがよく使われるが、エネルギー一定則は $T_{eq}=0.3$ 秒で危険側、 $T_{eq}=0.6$ 秒でほぼ一致、長周期に対してエネルギー一定則を使うことに問題はあがるが $T_{eq}=0.9$ 秒ではかなり安全側の結果になっている。

(3) コンクリート構造の耐震設計上の問題点

1) コンクリートの応力-ひずみ曲線

- ・曲げの場合は応力-ひずみ曲線さえ適切に与えれば精度よく計算でき、応力-ひずみ曲線は帯鉄筋によりコンファインされたコンクリートのものを使う。
- ・plain concreteの破壊ひずみが通常3500 μ に対し、confined concreteは10,000~20,000 μ で鋼材並となり、帯鉄筋が先に破断する場合もある。
- ・道示耐震設計編はconfined concreteの応力-ひずみ曲線が採用されたが、コンクリート橋編ではplane concreteのままで矛盾しているが、将来同じになるであろう。

2) せん断耐力

- ・曲げの場合はある程度精度よく求められるので、残っている問題はせん断と変形性能である。

①アメリカの考え方

- ・ASCE-ACI426委員会のせん断耐力算出法：考え方は日本と似ており、 $V_d = \phi_s(V_c + V_s)$ で表される。
(V_c, V_s ：コンクリートおよびせん断補強筋の分担力、 ϕ_s ：せん断耐力低減係数)
- ・ V_c は有効断面積、コンクリート強度、軸方向力、引張鉄筋比で表されるが、洋の東西を問わずほぼ同じである。ただ、寸法効果を有効断面積の中に入れていたところが日本のコンクリート標準示方書と異なる。
- ・ V_s は日本と同様、トラス機構で求められる。
- ・この式は経験式であって、実験結果から回帰式として求められている。精度にはある程度限界があり、じん性率が大きくなると精度が悪くなることが分かっている。
- ・そこで最近、UC San Diegoで V_c にじん性率による低減係数 k を掛ける評価式が開発された。コンクリートの負担するせん断力は曲げ降伏後、減ってくるということで理にかなった考え方のように思われる。さらに、軸圧縮力によるせん断耐力の増加を加算することになっている。

②日本の考え方

- ・コンクリート標準示方書： $V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$, $V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ で表される。 f_{vcd} =せん断強度、 β_d =寸法効果(有効高が大きくなるとせん断強度が低下すること)、 β_p =引張鉄筋比の影響、 β_n =軸力の影響
- ・道示： $P = S_c + S_s$, $S_c = 1000 C_c \cdot C_e \cdot C_{pt} \cdot \tau_c \cdot b \cdot d$, C_c =地震動タイプによる補正、 C_e =有効高さによる補正(寸法効果)、 C_{pt} =引張主鉄筋比による補正、 τ_c =コンクリートが負担できる平均せん断応力度。耐力式であるが τ_c の決め方は許容応力的な考え方が混在していると思われる。式の形は標準示

方書と似ていると思われるが、値はかなり違っている。次第に整合されていくだろう。

- ・アメリカ、道示、コンクリート標準示方書のせん断耐力式を比べてみると、かなり差があるというのが現状である。

3) 変形能

- ・コンクリート構造のヒステリシスカーブを設計で定量的に評価出来ることは重要であり、我々も研究を進めているが、まだ理論的に数値解析だけから求める手法は確立されていない。ある条件では有限要素法でかなりの精度で求められるが、あらゆる場合には対応できていない。
- ・しかし、設計はしなければならないので、主に実験結果をもとに求められているのが現状である。

①アメリカと道示の場合

- ・まず、曲げモーメント-曲率関係を求め、これをもとに部材のじん性率を算出している。M- ϕ 関係は応力-ひずみ関係を与え、平面保持を仮定しておけばファイバーモデルから計算できる。
- ・計算された M- ϕ 関係は側方鉄筋などの影響で、初降伏が起こってから丸みを持った曲線になる。設計では割り切りの考え方で、これをバイリニヤにしている。
- ・次に部材の曲げモーメント分布から曲率分布を求め2回積分することで変形が計算できるが、コンクリートの場合、このようにして求めた変形は実験結果と比較してかなり小さいものになってしまう。
- ・そこで実験結果を見て、ある区間を塑性ヒンジ領域として曲率分布を補正してやらないと合わないと言われている。アメリカや道示でも塑性ヒンジ区間をとるようになっている。

②コンクリート標準示方書

- ・アメリカと道示は曲げじん性だけを考慮して、せん断破壊する場合のじん性を認めていないが、実際には曲げ降伏後せん断破壊する場合がかなり多い。土木学会では、この場合のじん性率を求められるようにしてある。
- ・ V_{yd} / V_{mu} (意味はせん断耐力と曲げ耐力の比) が2倍以上あるときは、せん断破壊が起らず、曲げじん性が10程度あることが実験結果から分かっている。
- ・ $V_{cd} / V_{mu} < 1.4$, $V_{sd} / V_{mu} < 1.4$ の場合、じん性率は
$$\mu_d = [\mu_0 + (1 - \mu_0)(\sigma_0 / \sigma_b)] / \gamma_b$$
 , $\mu_0 = 12(0.5V_{cd} + V_{sd}) / V_{mu} - 3$ と表される。
- ・コンクリートとせん断補強筋の寄与分を分けて、じん性率が大きくなると、 V_c が下がってくることを考慮して0.5という係数を掛けている。

質疑応答

- Q. かなり前にこの委員会で議論したが、ここではじん性率は材料の話で、構造のときには塑性率というように定義している。コンクリートの分野ではどういう定義をしているのか。
- A. まず、じん性率では荷重-変位曲線で終局の変形量をとっている。荷重-変位曲線の求め方はいろいろあるが、コンクリートがひび割れ、鉄筋が降伏し、最大荷重に達し、荷重が低下して終局に至るといような曲線になる。終局点の考え方も様々あるが、最大荷重を越え降伏荷重まで低下した点を終局とする。そこで、じん性率は終局変位を降伏変位で割ったものとして定義している。一方、塑性率というのは、一般には応答塑性率という呼び方をされていて、応答解析で求められた最大変位を降伏変位で割ったものとして使う場合が多い。したがって、じん性率と言う場合には部材固有の終局変形能、塑性率と言う場合には部材がとっている応答を無次元化したものを意味している。
- Q. そうすると、じん性率は保有性能、塑性率は要求性能になるわけですか。また、応答塑性率という言葉がコンクリート標準示方書に出てくるが、これは塑性率と同じ意味か。
- A. その通りである。
- Q. 我々が使っている定義と違うが。
- A. じん性率だけは、きちんと分けて使っているが、ただ英語に直すときに多少問題があるかと思う。
- Q. 塑性ヒンジ長の決め方はあるのか。
- A. 理論的なものはなく、実験から決めている。道示の場合、曲げ降伏~曲げ破壊型に限っているが、 $L_p = 0.2h - 0.1D$ というような形で与えている。
- Q. 塑性ヒンジを考えなくてはいけないというメカニズムは何か。
- A. まず1つは、塑性ヒンジ長を考えないで計算すると変位がかなり小さく出てしまうからである。

- Q. それは、どういう理由か。
- A. 2つめは実験観察から、実際にある区間のコンクリートが破壊しており塑性ヒンジ域を考えるのが妥当ではないかということである。
- Q. 例えば、 $M-\phi$ に直さないで、最初からファイバーモデルで計算しても同じようになるのか。
- A. 同じです。1つの応力-ひずみ関係を使うなら同じになる。
- Q. Steel の場合も基部に局部座屈が発生するが、局部座屈を考えないと小さくなるが、それと同じようなことがメカニズムとしてコンクリートのあるのだろうか。
- A. 損傷というか、塑性が起こる領域は部材寸法などに依存するが、コンクリートの方が基部からかなり上の方まで行ってしまうと考えている。
- Q. そのメカニズムはまだ分かっていないのか。
- Q. アンカー筋の抜けだしは除いて計算されているのか。
- A. 鉄筋の引き抜けが基部の回転になるが、それは別に計算して累加するという形でやっている。先程の計算は回転を引いたうえでも、やはり実験値と合わない、小さくなってしまおうということである。
- Q. 塑性ヒンジの中の応力-ひずみ曲線はどのようにしているのか。
- A. 先程、示した帯鉄筋による拘束を考慮したものを使っている。これも使わないとすると、本当に小さな変位しか出てこない。
- Q. 土木学会のじん性率式で0.5という低減係数は、本当は変形量とかの関係で表すべきではないのか。
- A. 本当はそうであるが、改訂の時間の関係で当面このようにしてある。信頼できる実験結果と比較して、変動係数が10%を多少越える程度で評価できている。今後の課題として精度を上げることを研究しているところである。
- Q. 現在、鋼構造の方では設計が難しくなるという理由で最大荷重までしか使わない設計法を考えている。一方、コンクリートの方では最大荷重を越えて降伏荷重に下がる所まで使うようだが、解析上の難しさはないのか。
- A. 確かに解析は難しいと思う。しかし、実験式でもってそれを評価し、それを使わないという考えは無いようである。
- Q. スチールでもそこまで使いたいが、ピーク以降のいろいろな影響、例えば繰り返し劣化とか、そういうことがうまく評価できないのでやむを得ず、ピークかそれを少し下がった所までしか使っていない。コンクリートでは、少し細かいことは目をつぶって思い切って使おうということか。
- A. 実は終局限界状態をどう定義するかということであるが、曲げ降伏して、コンクリートが破壊したら終局というのが、だいたい我々の共通認識である。コンクリートは最大荷重のところで壊れるのではなく、それから下がったところで壊れるのでそこが終局点になる。個人的な考えだが、実験していてもまだ耐力はもっているわけだから、それを使わない手はないと思う。
- Q. そうすると、繰り返しの影響等は目をつぶっているということか。
- A. 指摘のとおり実験で繰り返し回数の影響があるわけだが、地震という荷重を考えたときに繰り返し回数が10回なのか30回なのかを考える必要がある。降伏を越えてからは $1\delta_y$ を1回ずつ繰り返せば、ほぼ地震の最大を包絡しているのではないか。それを10回位繰り返せば良いのではないか。
- Q. 土研も昔はたくさん繰り返していたが、最近は少なくなったようだ。
- A. 降伏を越える変位の繰り返しが10回もあるような地震は余りないだろうと思う。
- Q. そうすると、10回くらい繰り返した実験をもとに、降伏荷重まで下がった点を終局とするのが、だいたいのコンセンサスということか。
- A. その通りである。
- Q. 今の話で、応力-ひずみ曲線はどうやって出しているのか。
- A. 応力-ひずみ曲線は、あくまで曲げじん性を解析で求めるにはどうするかという時の話で、アメリカや道示のようにファイバーモデルで求められる。
- Q. その場合の応力-ひずみ曲線はどういった実験から求めているのか。
- A. フープ筋を巻いた柱の軸方向荷重をかけた実験から求めている。
- Q. コンクリートの耐震性能2は「機能が短時間で回復でき補強を必要としない」となっているが、部材ではどれくらいの塑性になるのか。
- A. いろいろ議論はありましたが、まだコンセンサスは定まっていない。要求性能がはっきりすればこの辺でという様になるのではないか。

Q. 残留変位はどうか。

A. 道示には載っているが、RCを使う場合においてはまだ良い方法がないのが現状である。実はPC技術協会で残留変位を少なくするための研究がされていて、プレストレスを入れると残留変位がかなり小さくなるという実験結果が出ている。残留変位が要求性能として挙げられる場合には、これをメニューとして提案することを考えている。

Q. それは改良法ですが、今の道示でやると要求を満足できない可能性があるのではないか。

A. 新設でやる場合は先程のような方法もあるのですが、どうしてもRCで残留変位を小さくする場合には耐力設計をしなければならないだろう。

Q. 今のところ、残留変位を推定する手法はあるのか。

A. まだ確立されていないが、耐力を大きく最大応答を小さくすれば、(弾性勾配で戻るとする)単純な考え方でも小さい残留変位になる。

Q. どこまで耐力を大きくするかが問題であるし、地震波によってもずいぶん違うと思う。

A. 工学的により重要なのは最大応答だろう。

Q. 耐力を上げるというのは、1次設計の安全率を大きくするのと同じことではないか。

A. そうである。

Q. RCで地震波を入れて、どのくらいの残留変位が出てくるかという実験はされたことがあるのか。

A. 余り聞いたことはない。

Q. スチールの方も残留変位の推定法に苦労しているが、RCも同じような状況のようだ。偏心荷重が作用する場合には残留変位が大きくなり、1/100を満足するのが難しくなるが、RCも同じように思う。PCの場合は残留変位が小さくなるようだが、履歴曲線の面積が小さくなってしまっているのではないか。

A. 大きな応答変位ができるかということで計算してみると、そんなには出ないので、むしろ周期特性の影響の方が大きいようだ。

Q. PCのエレメントというのは普通の規定分が入っている柱なのか。

A. 実質的にはRCの鉄筋の一部をPCに置き換えたということで、履歴曲線の膨らみももっとあるけれどもRCよりは残留変位が小さくなるというものだ。

Q. ここで決めている耐震性能と残留変位とうまくリンクするのか。

A. 残留変位ではなくて最大応答塑性率が耐震性能に関係しており、応答塑性率と残留変位をリンクさせることはまだやっておらず、それが将来できるかというところ良いアイデアはない。

Q. そうするとコンクリート標準示方書の中で残留変位というのは、どういう形になっているのか。

A. 今は決めていない。

Q. 将来的には入るのか。

A. 入ると思う。

Q. 実験データとじん性率の関係を説明されていましたが、コンクリートの方では下限をとるということはしないのか。

A. 説明は生のデータだが、設計ではそれに部材係数を考慮する。

Q. 曲げで破壊するときはファイバーモデルで出来るということだが、せん断で破壊するときも同じにできるのか。

A. 出来ない。方法としては有限要素法等が考えられるが、曲げ変形とせん断変形を同時に考えるのは、どういう条件になっているのか、なかなかよく分からない。東大で開発されたプログラムである条件に対しては追えるものがある。

Q. 曲げ破壊からせん断破壊に移行する直前では、コンクリートはどのような状態になっているのか。

A. 柱で曲げによる水平のひび割れが入り、それにせん断によるX字形のひび割れが重なってくる。しかもカバーは剥離して、場合によっては鉄筋の座屈など色々な要素が絡み合ってくる。

Q. 現状では、せん断破壊を防ぐ構造を考えられないのか。

A. 帯鉄筋を多くいれれば可能である。

Q. 解析が難しいせん断破壊を追求するのがベターなのか、それともせん断破壊が起こらないような構造を考えるのがベターなのか。

A. 曲げ破壊で、じん性率が10を越えるようなものは変形が大きすぎるとか、色々な問題が絡み合ってくるので一概にはどちらが良いとは言えない。

Q. レベル2地震を1Gから2Gに引き上げたのはどういう理由と思われるか。

- A. 基本的には神戸の地震の大きさを弾性応答がそれだけあったということで、建築が上げずに土木が上げたのは政策的な理由と思う。
- A. 最近の基準で作られた構造物は壊れなかったというが、震度7の帯の所には新しい構造物が少なかったことを考慮して見ないといけない。

3. その他の資料

(1) 建築学会第3次提言とその後：資料1-5-5 (織田委員)

- 1) 建築雑誌1998年6月号に掲載された第3次提言のその後に関する記事を紹介した。
- 2) 建築学会では第3次提言をフォローすべく3つ委員会を設けて活動している。
 - ①政策推進委員会(学会としての行動計画, 行政などとの連絡調整)
 - ②地震防災総合研究特別研究委員会(活断層情報, 性能表示型耐震設計法, 都市システム, 防災原資)
 - ③特別研究課題検討会(一般向け啓蒙活動)
- 3) 地震防災総合研究特別研究委員会：4つの小委員会
 - ①地震情報対応策小委員会(活断層等の地震情報を実際の防災計画に取り入れる研究)
活断層, 余震情報等の地震情報を災害防止, 災害軽減等の防災計画へいかに取り入れていくかの仕組みの構築
 - ②総合耐震安全性小委員会(総合的な耐震性能の評価法「性能表示型耐震設計法」)
第3次提言で提案した「耐震メニュー」の具体化をはかるとともに, 総合的な性能表示型耐震設計法の枠組みを構築する。構造体のみならず, 非構造部材も含む。
 - ③都市構造防災化小委員会(都市構造の防災化と生活復旧・復興システムの研究)
災害に強い都市構造の実現方策と, 被災者の生活復旧・復興システムの体系化
 - ④防災対策原資小委員会(防災対策の原資に関する研究)
防災対策にかかわる財源と税制のあり方
- 4) 提言に対する要望の例(一部抜粋)
 - ・地震活動の低さから耐震設計を下げないように望む。そもそも1つの地域の大地震の確率は小さく, 確率すら求められないことが多い。
 - ・活断層調査は着々と進んでおり, いかなる情報が工学で必要になるか要請すべきである。
 - ・性能表示型設計法を導入すれば全て解決するという印象が強すぎる。最低水準を如何に設定するかについて提言は触れていない。
 - ・「新耐震」で設計されても倒壊はあり, 中損でも建て替えを余儀なくされたものがあった。したがって最低水準が十分でない。土木では耐震水準が引き上げられている。

質疑応答

- Q. 土木が地震荷重をすぐ引き上げたことに対して, 建築の方から批判的な意見もあったようだが, 建築以外の一般の人から評価されているのではないか。
- A. 明らかに, そう言っている。しかし, 建築では個人の負担になるので荷重を引き上げることに慎重になるのではないか。土木の場合, 行政が自分で決めて, 税金けれども自分で払うので, 一貫性がある。
- Q. 一方, 荷重を決めている建築基準法が最低基準に達していないという議論もあったが。
- A. 人命が確保されるだけでなく, 建て替えも避けたいという気持ちが強いようだ。
- Q. 自分の住居は個人の切実な問題になるが, 土木構造は人命さえ保護されればよく, それ以上にお金をかけて機能保全しようという気持ちにならないのでは。
- A. 自分が直接支払うことと, 納税の形で税金をそのために使ってもよいという意志決定は別の次元のものになるかもしれない。
- A. そうすると, 建築の最低基準が先に上がって, 土木の方はそれ程上げなくてもよいかもしれない。

(2) ISOへの対応(鋼構造分野の取組み): 資料1-5-6 (依田委員)

- ・ISO特別委員会が昨年10月に立ち上がり, 鋼構造委員会で小委員会と関係するのは, 「設計指針」, 「施工標準」, 「材料規格」である。

- ・ Eurocode の多くが ISO 規格に昇格すると予想されるので、Eurocode に注目している。Eurocode は 0～9 があり、8 が耐震設計編であるがこれは動いていない。これは ISO が先に進めているため、逆に Eurocode の方にもってくる。
- ・ ISO の耐震の規格は実は日本の建築で案を作っている。土木では、その案を地震工学関係のところで議論しているところである。
- ・ 鋼構造分野の取り組みとして「設計指針」(設計フォーマット)、「施工標準」の活動を紹介した。
- ・ ISO の動きに対抗するために、APEC 基準を作るという考えを紹介した。

(3) SEWC '98 の報告：資料 1-5-8 (依田委員)

- ・ 耐震工学のセッションの抽象クトを紹介した。論文は CD-ROM に入っているので、依頼があれば出力する。

4. 次回の予定

(1) 議題

各WGの経過報告

(2) 次回の予定

日時：12月9日(水) 14時～

場所：弘済会館

第6回 第1分科会 会議議事録

日時：平成10年12月9日（水） 14:00～17:00

場所：弘済会館

出席者：宇佐美委員長，伊藤主査，青木，杉浦，奈良，山口，依田，加藤，中村，藤田，矢幡，織田，
以上12名

- 資料：I-6-1 第6回議題
I-6-2 第5回 第1分科会 会議議事録
I-6-3 耐震設計に用いるコンクリート部材の耐力と変形性能
I-6-4 設計規準における安全性確保の方法（構造工学委員会，確率・統計的意志決定研究小委員会報告書より）
I-6-5 平成7年度全国大会研究討論会資料「構造物の破壊時コストの明確化と設計問題における意志決定－阪神大震災の問題提起する構造物のコストと安全性の問題点」
I-6-6 中村，堀，井上：瞬間入力エネルギーによる地震動の破壊特性評価と応答変形の推定，建築学会構造系論文集，1998.11.
I-6-7 土木構造物の耐震設計の高度化－鋼製橋脚に対する各項目の例
I-6-8 川島：橋梁の耐震設計と性能クライテリア，秋山：鋼構造骨組の耐震設計，家村：極限地震動に如何に立ち向かうか？－耐震設計から免震・制震設計へ－，第10回地震工学シンポジウム（1998）.
I-6-9 建築学会：第3次提言，耐震メニュー案
I-6-10 久木，石川：住宅の構造安全性に居住者が求める性能および水準に関する研究，建築学会構造系論文集，1998.11.
I-6-11 限界状態の明確化について
I-6-12 JSSC メガフロート技術研究組合：大規模浮体構造物（メガフロート）の設計信頼性の評価に関する研究報告書
I-6-13 橋梁（鋼構造）の機能保持限界の検討 No.1
I-6-14 杉浦，渡辺，山口：模擬地震動による一質点弾塑性系の応答性状と保有水平耐力法に関する一考察，第2回鋼構造物の非線形数値解析と耐震設計への応用に関するシンポジウム.
I-6-15 羅，室野，西村：群遅延時間を用いた適合波の作成とその非定常性が弾塑性応答へ及ぼす影響，第10回地震工学シンポジウム（1998）.
I-6-16 土木学会関西支部：1995 兵庫県南部地震の強振動

議 事：

1. 前回議事録の確認

質疑応答

- Q. 4頁のところで降伏を越えてから $1\delta y$ ずつ10回くらい繰り返せば，ほぼ地震の包絡線をカバーできるとあるがどういう意味か。
A. $1\delta y$ ，1回ずつ増分して $10\delta y$ まで載荷するという意味である。
Q. 震度階はどうやって決めているのか。
A. 今は変わって，加速度計にフィルターをかけて自動的に検出するようになった。昔は人が揺れとか被害の状況を見て決めていた。また，震度6,7がそれぞれ強と弱に分割された。
Q. 「震度7のところに新しい構造物が少なかったことを考慮しない」といけないとあるが，新しい構造物があると被害が少なくなるので震度7になり得なかったのではないか。
A. そういう意味ではなく，新しい基準で設計された構造物でも，そこにあれば壊れた可能性があるということだ。
Q. 地震動の強さではそうだが，震度7という表現をすると被害状況に関わってくるので，震度はかわ

ったのでは。

- A. 今は震度計で速報されるので、建造物の被害とは直接関係なくなっている。極論すれば、昔で弱い建造物が多い場合には震度が高めに発表されていたとも考えられる。

2. 各WGの報告・話題提供

(1) 性能照査WG (藤田委員)

1) 設計規準における安全性確保の方法(資料 I-6-4)

構造工学委員会・確率・統計的意志決定研究小委員会の報告

- ・委員会では昨日(12月8日)に確率・統計的意志決定に関するシンポジウムを開催した。
- ・委員会では次の3つのWGで活動している。

第1WG：設計規準における安全性確保

本日、配布した資料 I-6-4

第2WG：リスクを考慮した建設部門における意思決定

原子力発電などの分野において、リスクを考慮した期待総費用最少化原則の式を利用した意思決定の考え方があるが、この中で破壊時費用、破壊確率がそれぞれの分野においてどのような意味合いで使われているかをまとめている。実際、式どおりには意思決定されていないというのが現状である。

第3WG：データ解析における確率的意思決定

主に現場で得られるデータをどうやって有効に使うか、設計にフィードバックするかということをもとめている。逆解析の手法のアプリケーションである。

設計規準における安全性確保の方法

- ・p.7の図に示すような安全性確保の枠組みの提案である。設計は「荷重の決定」、「材料強度の決定」、[断面力の算定]、最後に「照査」という順に行われるが、それぞれの部分で安全のために余裕を見込んでいる。これらの余裕をどのように考え、出来上がる建造物が持っているトータルの安全性をどのように定めるかという枠組みである
- ・例えば、荷重特性値は建造物によって共通でよいが、耐力側も考えてトータルで安全性を確保するために、荷重係数は建造物によって違ってくる。設計フォーマットは将来的に信頼性設計法であるが、現実的にはレベル1のLRFDを考えている。
- ・重要度係数について、シンポジウムでも議論になったが、最適容認レベルというものは存在しないと考えられている。つまり、社会はリスクを容認せず、リスクには耐えないといけないようである。
- ・また、期待総費用最小化という考え方でも決められないと思われる。期待総費用最小化によると効用ばかり強調されて、社会が望むより安全側のものでなく安全性が小さくなってしまおうと思われる。
- ・建築の方ではアンケート調査など安全性水準を決める研究がなされているが、土木建造物では難しい。委員会では専門家が安全水準を決めざるを得ないと考えられている。

2) 構造技術者へのコストと安全性に関するアンケート(資料 I-6-5)

平成7年度全国大会研究討論会「建造物の破壊時コストの明確化と設計問題における意志決定—阪神大震災の問題提起する建造物のコストと安全性の問題点」

- ・中村氏(篠塚研究所)からリスクマネジメントに関する話題提供があった。
- ・リスク回避には、破壊確率を小さくする(ハード)、破壊時の被害を小さくする(消防訓練などソフト)、リスクファイナンス(負担できないリスクを移転)の方法がある。
- ・将来、いろいろなメニューを示すリスクマネジメントがビジネスになると予測。

討論会資料(アンケート集計結果)

- ・兵庫県南部地震の後、民間企業の構造設計者、構造工学を専門とする大学関係者、官庁の方にアンケートをとった。回答者は570名。
- ・「安全性を破壊確率のように定量化する考え方に同意できるか」という設問に対して、ポジティブ約6割、ネガティブ約1/4であった。ネガティブな理由は、破壊確率の適切なレベルが決められない、計算精度に問題がある、であった。
- ・「設計規準の安全係数に幅を持たせるといった考え方に賛成か反対か」という設問に対して、87%が賛

成または場合により賛成であった。

- ・「一つの構造物の中でも安全性に差を持たせることに賛成か」という設問に対して、93%が賛成または場合により賛成であった。
- ・「重要度について考えたことがあるか」という設問に対して、ほとんど全員があると回答した。
- ・「重要度は何によって決まるか」という設問に対して、人命への影響、社会的・経済的影響を選んだ人が最も多かった。地震の後であったためか、初期建設費用を選んだ人は少なかった。
- ・「設計で構造物が破壊する事態は考えなくてもよいという考え方に賛成しますか」という設問に対して、ほとんどの人は反対で考えるべきということであった。
- ・「破壊時費用を定量化していくこと」に関する設問で、多くの人は定量化の努力をすべきを選んだ。逆に定量化は難しいという考えも読み取れる。
- ・「現状の構造物の安全率はどの程度あるか」、「また、構造物の安全率はどの程度であってほしいか」という設問に対して、後者の回答は安全側にシフトした。構造技術者においても、より安全なものがほしいことを表しており、総費用最小化により安全性水準を定めることは難しいと思われる。

質疑応答

- Q. 初期費用 C_i と破壊時費用 C_f は関係しているのではないか。 C_i が大きくなれば C_f は小さくなると思う。
- A. 言われるとおり、独立ではない。
- Q. アンケートでは、 C_i よりも破壊時の影響が問題になるという結果であったが、そこは独立ではないと思う。
- A. C_i は現行規準の水準をイメージして、規準以上にお金をかけてより安全にすべきだというイメージではないか。
- Q. 安全性に関する質問で、構造技術者は現在の構造物の安全性を十分でないと思っているのか。
- A. 結果からは何とも言えず、専門的に十分考えた上での判断が分からない。また、地震直後であった影響もある。現在の構造物の破壊確率が $P_f=10^{-1}$ という回答はかなり極端だと思う。
- A. $P_f=10^{-6}$ という値は教科書によく書いてある数値なのでそのようなイメージが形成されているのだろう。
- Q. 安全性確保において、材料強度、構造解析法、荷重は設計規準で定めるようになっているが。
- A. まだ、設計者に決めさせる段階ではないと考えている。ただ、建築の方と議論したことは、荷重指針ではデータ、基礎資料を示して、設計をどうやっていくかを説明している。LRFDを念頭においてデータベースを整備していく必要がある。
- Q. 重要度の基準もすべてデータでやるということか。
- A. 情報開示をいつ、どうやってやるかという別の問題もある。
- Q. 情報開示と同時に、結果フィードバックしてコンセンサスを得たり、支払い意志を聞くことはできないということか。
- A. 建築の場合だとメニューを示して建築主の判断を求めることができるが、土木の場合は難しい。
- Q. 中間の鉄道は公共性を持っているが、一応民間なのでどうか。
- A. JRも建築のように、経営という観点から期待総費用最小化の方向にいくのではないか。

(2) 想定地震動WG (杉浦委員)

資料 I-6-14: 模擬地震動による一質点弾塑性系の応答性状と保有水平耐力法に関する一考察

- ・地震荷重という観点から入力地震動を設定してやる必要がある。しかし、非常に不規則なのでどこまで予測できるのか、また予測できたとしても、それだけで安全側の設計ができるのかという疑問があった。
- ・動的解析は手間がかかるので、準静的な設計法とし保有水平耐力法の適合性を、模擬地震動を多く発生させ定量的に調べた。
- ・模擬地震動の発生は半経験的なものと理論的なものがあるが、実用的な面から前者を採用した。
- ・荷重という観点から、道示の加速度応答スペクトルをターゲットとして、正弦波合成法により100波作成した。
- ・非定常性を表す位相差分布は、加速度応答スペクトルの形に類似と仮定した。
- ・100波の中で、最大加速度は670gal、最小は431galでかなりの差とばらつきがある。加速度だけが応答を支配する要因とは言えない。
- ・復元力はバイリニヤとし、弾性復元力と降伏強度の比 $\alpha=2,3,4$ 、弾性勾配と2次勾配の比 $\gamma=0, 0.01$,

0.05とした。

- ・ 図-7：弾性応答の結果。加速度と変位の変動係数は1~6%で小さい。速度の変動係数は約10%で多少大きい。
- ・ 図-8：弾塑性応答の結果 ($\alpha=2, \gamma=0$)。加速度応答は弾性が1000galに対して、 $\alpha=2$ によってほぼ半分の500galになり、変動係数は弾性よりもやや小さくなっている。速度応答の変動係数は弾性と比べ余り変化しない。変位応答の変動は弾性よりも大きくなる。エネルギー一定則による最大変位の予測値は $M+2\sigma$ の範囲に入っている。
- ・ 図-10：弾塑性応答の結果 ($\alpha=4, \gamma=0$)。実際に道示による設計では $\alpha=4\sim 5$ が必要になる。このとき、エネルギー一定則による予測値は $T=0.3\text{sec}$ 以下では $M-2\sigma$ を大きく外れ、危険側となっている。
- ・ 図-8a：最大加速度応答の他に最大復元力を併せて示しているが、弾塑性系ではかなりの差がある。この差は減衰力によるもので、慣性力だけでは基礎に伝わる復元力を評価できないことを表している。
- ・ 図-12：上記のことを説明するために、速度対加速度の履歴ループを表した。塑性状態では慣性力と減衰力が直線式的関係になるので、最大加速度点と最大慣性力（速度ゼロ）点に差が生じる。

資料 I-6-15: 群遅延時間を用いた適合波の作成とその非定常性が弾塑性応答へ及ぼす影響

- ・ 群遅延時間（フーリエ位相スペクトルの傾き）により位相非定常性を考慮した模擬地震動を作成
- ・ 目標塑性率を定めて、所要降伏強度のばらつきを調べている。

資料 I-6-16: 土木学会関西支部: 1995 兵庫県南部地震の強振動

- ・ p.134, 図 6.6.3 は神戸海洋気象台の実測地震波形と断層から理論的に予測した波形の比較で、よく合っている。
- ・ 大阪市ではウエマツ断層の地震動を理論的に予測して、耐震設計に使っている。

建築学会: 多次元入力地震動と構造物の応答

- ・ 建築の場合、剛心と重心が違う場合があり、ねじり振動がシビアになるときがある。この場合、3次元入力地震動を用いて動的応答解析する必要がある。
- ・ 3次元地震動の発生は水平直交方向に2/3を、鉛直方向には1/6(?)を掛けるという提案もある。

質疑応答

- Q. 資料 I-6-14 の図-5は何種地盤の結果か。
- A. 図-3にある3種地盤である。
- Q. 地震工学シンポジウムで、構造物に被害を及ぼすのは最大加速度800gal以上、最大速度100kine以上というのがあった。これが正しいとすると論文の結果はほとんど被害が生じない。構造物にシビアな2種地盤の結果はどうなるのか。
- A. これはタイプIなので、タイプIIはまだやっていない。
- Q. そうすると、現行示方書で設計しておけば、ほとんど安全になるはずだ。タイプIIの2種地盤を計算してほしい。
- Q. 塑性率が大きくなると、現行示方書のエネルギー一定則で設計したものは危険側になるという結果ではなかったのか。
- A. 塑性率を5とするとエネルギー一定則により降伏強度は1/3になるので、かなりばらつきが大きくなり危険側になる。
- Q. 完全弾塑性型のエネルギー一定則ではなくて、実際には2次勾配があることを考えなくては行けない。
- A. 2次勾配5%を考慮した結果が図-11で、やはり危険側になる。
- Q. 現行示方書では安全率1.14を考慮しており、降伏強度で設計しているわけではない。
- A. 塑性率 $\mu=8.5$ ときの降伏強度比 $\alpha=4$ になる。タイプIIの2Gであれば0.5の震度で設計することになる。
- Q. そういう論理ではなく、現行示方書で1次設計したものに対して2次設計が安全かどうかを議論した方がよい。
- Q. 3種地盤のレベル1は300galであるから、1.14をかけた340galに対する降伏強度を持つことになる。それは $\alpha=4(\mu=8.5)$ でもカバーできないということではないか。
- A. 短周期では、そのように危険になるということだ。
- Q. 期待する塑性率を先に決めるのであれば、エネルギー一定則を使わないで動的解析により最大応答

塑性率を照査すればよい。

- A. この論文は、エネルギー一定則の精度を検証したものである。
- Q. 逆に言うと、短周期で塑性率が大きい場合はエネルギー一定則の適用範囲外で、動的解析が必要になるということではないか。
- A. この他に、3次元で地震波をたくさん作ってもばらつきが大きいので、いくつかの波形で設計しただけで本当に設計したことになるのかという疑問もある。
- Q. エネルギー一定則にこだわらず、動的解析において何波くらいとって設計すれば安全である、ということを導いた方がよい。
- A. 整理し直せば、そのような事も可能と思う。
- Q. この委員会では地震動そのものを研究するわけではない。土岐委員会の第1WGである大町先生のグループの情報はあるのか。第3次提言に取り入れる地震動をやっているはずであるが、なかなか情報が伝わってこない。
- A. 今のところない。
- Q. そのWGではスペクトル適合波ではなく、理論地震動をやっていると思う。我々はスペクトル適合模擬地震動を提供するという形で役に立つのではないか。その時、何波くらい使えばよいのか分かれればよい。100波は多すぎるので数波セレクトしてもらいたい。
- Q. ワークステーションで模擬地震動は簡単にできても、余り多いと設計の見通しが悪い。
- Q. 道路協会から3波出ているので、それに加えて10波くらいでどうか。
- Q. 100波の中から、定性的な評価で危険になる3波くらいをセレクトすることはできるかもしれない。
- Q. しかし、余り危険になるものばかり選ぶのはどうか。
- A. 1対1の対応は見えていない。それぞれの波形の加速度と応答を見て考える必要がある。
- A. しかし、ばらつきを考慮しないとすると、波形をたくさん発生させた意味がなくなる。
- Q. 加速度だけ大きくてもダメなので、他の要素も検討する必要がある。
- Q. 構造物の種類によっても応答特性が違ってくるのではないか。
- Q. 鋼構造とコンクリート構造では、降伏後の挙動、長周期化が違ってくる。
- Q. 加速度応答スペクトルだけをターゲットにすることでよいのか。最終的に何を基準にするか分かれれば、ばらつきも小さくなるのではないか。
- Q. 資料I-6-6は入力エネルギーにより地震動の特性を評価しているので紹介したい。

資料I-6-6:瞬間入力エネルギーによる地震動の破壊特性評価と応答変形の推定(織田委員)

- ・この論文では、「瞬間最大入力エネルギー」という時系列的なエネルギー入力性状を考慮して、地震動特性を論じている。また、瞬間最大入力エネルギーを用いた応答予測の方法を述べている。
- ・論文で定義する瞬間入力エネルギーは履歴ループの反転点から反転点まで(1/2サイクル)の入力エネルギーである。
- ・図3:武田モデルを使い、応答塑性率が2になるように4種類の地震波を規準化したもの。地震動特性として、地動最大加速度、地動最大速度、総入力エネルギー、瞬間最大入力エネルギーを比較すると、瞬間最大入力エネルギーが規準化された地震動において最もばらつきが少ない。逆に、波形が違っても瞬間最大入力エネルギーが同じならば、構造物の損傷(塑性率)はほぼ同じと言える。
- ・図5:瞬間最大入力エネルギーのスペクトルは等価固有周期によって読み替えれば、弾性でも弾塑性(塑性率が変化しても)でも変わらない。
- ・図6,7,8:3種類の観測地震波の瞬間入力エネルギー時刻歴。海洋型地震では大きな瞬間入力エネルギーが何回も累積されており、直下型地震では初めの1,2回に集中していることが明確になる。このことから地震特性が分類できる。
- ・論文の後半は瞬間最大入力エネルギーを用いた応答予測で、入力地震動とは直接関係はない。
- ・入力エネルギーから応答予測するためには吸収エネルギーの計算が必要で、このために地震動と塑性率の違いによる4パターンの履歴ループを仮定する。
- ・吸収エネルギーには履歴消費の他に、減衰による消費も考慮する。履歴消費の割合は塑性率が変わっても余り変化しない(図11)。減衰定数の増加と減衰消費分の増加は直線式で表される(図14)。h=5%だとおおよそ15%が減衰による消費となる。
- ・図15:最大変位推定のフローチャート。塑性率を仮定し、瞬間最大入力エネルギーと履歴ループから決まる消費エネルギーが等しくなるまで計算を繰り返す。
- ・図17:応答予測値の結果。履歴ループの仮定が簡易なためか、精度がよいとは思えない。

質疑応答

- Q. 応答を求めるときには瞬間最大入力エネルギーを使えばよいということか。
- A. 瞬間入力エネルギーのつり合いから応答を求めるが、履歴ループを仮定する必要がある、精度的に改善の余地があるように思われた。この論文で注目したいことは、瞬間最大入力エネルギーを使うと地震動の特性を類別しやすいことだ。
- Q. ハイブリッド実験の結果では、必ずしも入力エネルギーが最大のときに応答変位が最大にならなかったように思う。タイプ I の 3 種地盤では特にそうだ。
- A. この論文では、3 つの地震波ともうまくいっているようだ。
- Q. 図 15 で瞬間最大入力エネルギー V_{AE} が Demand で、 ΔE_{μ} が Capacity か。それが一致するまで繰り返すのか。
- A. そのとおりだ。
- Q. 瞬間最大入力エネルギーは最大速度の周期と一対一の対応があるのではないか。
- A. 言われるように、あると思う。
- Q. これは簡単な方法だけれども、地震応答解析すれば済むのではないか。
- A. そのとおりであるが、これは時刻歴解析をやらずに簡単に応答を求めたいときに使うと思う。
- Q. 多自由度だと、どうなるのか。
- A. 論文では多自由度について触れていないので分からない。
- Q. 1 自由度だけなら、動的解析をやった方が早いのではないか。
- A. 応答を求めることについては、その通りと思う。図 10 は動的解析で $\mu=2$ になるように降伏強度を定めた構造に対して応答予測した結果で、 $\mu=2$ の水平線に近いほど予測精度が高いことを意味している。しかし、予測値はばらつきがあり余り精度がよいとは思えない。応答予測よりも地震動の破壊力指標として瞬間最大入力エネルギーに注目している。
- Q. 図 3 は $\mu=2$ の場合であるが、ばらつきが大きくなる $\mu=4\sim 5$ について検証しなくてはいけない。
- A. それは図 5 で、 $\mu=2\sim 4$ について検討されているのではないか。
- Q. 図 5 は横軸を変えているので、変えずにばらつきが小さくなるか見る必要がある。
- A. 逆に、ほぼ一致させるために横軸に等価周期を導入しているのではないか。
- Q. この論文の結果は中途半端なように思えるが。
- A. 確かに明解な結論はないかもしれない。
- Q. 図 3 はおもしろい結果かもしれない。
- A. 図 3 の地震動の指標で、最もばらつきが大きいのは地動最大加速度である。
- Q. それに代わって、瞬間最大入力エネルギーが最もよいという結論ははっきりしない。他の論文と比較してみないと評価できないと思う。他のエネルギー入力と比較してコメントしてもらいたい。
- Q. もっと、時間間隔が短いエネルギー入力率というのも昔からあるので調べてみる。
- Q. 川島先生も最近、パルス地震動というのを研究している。

(3) 耐震性能区分・重要度 WG (宇佐美委員長)

資料 I-6-7: 土木構造物の耐震設計の高度化—鋼製橋脚に対する各項目の例

資料 I-6-8: 川島: 橋梁の耐震設計と性能クライテリア, 秋山: 鋼構造骨組の耐震設計, 家村: 極限地震動に如何に立ち向かうか?—耐震設計から免震・制震設計へ, 第 10 回地震工学シンポジウム (1998).

資料 I-6-9: 建築学会: 第 3 次提言, 耐震メニュー案

- ・川島論文の表 2 はアメリカの SEAOC が 1995 年に出した Vision2000 がベースになっている。建築学会の耐震メニューも同様にこれが基本になっているように思える。したがって、Vision2000 は多くの人が引用する耐震性能区分の雛形と思われる。
- ・家村論文の図 3 が Vision2000 の耐震性能メニューである。地震動のレベルは、Frequent, Occasional, Rare, Very Rare の 4 ランクであり、これに対する性能区分は Fully Operational, Operational, Life Safe, Near Collapse の 4 ランクである。家村先生の考えでは、Fully Operational = 弾性限界, Operational = 耐力の終局限界より小さい変位限界, Life Safe = 耐力の終局限界, Near Collapse = 変位の終局限界である。
- ・家村先生の提案は、免震・制震により Very Rare な地震に対しても Operational Repairable の限界に制御するということである。
- ・資料 I-6-7 は新技術の性能マトリックスであるが、先にのべた文献とそれほど変わらないので、このまま使えると思われる。ただし、許容損傷度の定義は多少見直す必要がある。
- ・つまり、川島論文では地震後の混乱から数日~1 ヶ月で復旧ということは困難で、数時間~1 日で機

能回復と同じでなければ1ヶ月以内にはならないと述べられている。

質疑応答

- Q. 川島論文の表2は非超過確率と耐用年数というようになっているが。
- A. Vision2000はもともと地震の再現期間で表してあり、それを耐用年数50年に置き換えたときの非超過確率を示している。Frequentは再現期間43年であり、50年の非超過確率は50%になる。これはレベル1の地震動に対応する。道示でレベル2のタイプIは耐用期間中に起こることが希な地震になっているが、それはOccasionalとRareを併せたくらいで確率は10%~20%である。再現期間では72年~475年になる。タイプIIはVery Rare(非常に希)で、確率は5%、再現期間970年に相当する。
- Q. 建築構造物の耐用年数はせいぜい数十年で、1000年近い直下型地震を考える必要があるのかという議論が出てくる。
- Q. 表にの縦軸を土木構造物の耐用100年としたらどうなるのか。
- A. もともとVision2000は地震の再現期間で区分してあるので、もし100年としたら、それに従って確率が大きくなるだけではないか。
- Q. 家村論文の図5は重要度による区分が入っていないが。
- A. 前の頁にある表2にあるように兵庫県南部地震の被災経験から公共構造物には機能保持が求められるから、直下型地震に対しても区別がなくなっていると思う。免震を利用すれば可能ではないか。
- A. Vision2000は建築も参考にしているという印象を持った。有名で皆さんが引用している。
- Q. 次回、どなたかが配布して説明していただくと有り難い。
- Q. Operational Repairableは資料I-6-7だと中損傷で、数週間で復旧可能とあるが、川島先生の論文では1日で非常に厳しいが。
- Q. Repairableには短期から長期まであり、範囲が広い。
- A. Vision2000のRepairableは短期ではないか。
- Q. 川島先生の短期はずいぶん短い。
- Q. 大規模な範囲で被災した場合は、混乱していて短期ですべて補修するのは難しいということだ。
- A. 論文では、逆に食料や医薬品の備蓄が3日分しかないところでは、3日で補修とも言っている。
- Q. 全部壊れるではなくて、確率論的に壊れる量を考える必要がある。
- Q. 最大応答変位のようなものは、ある程度確率論的に計算できるかもしれないが、Repairableかどうかは地震波の影響が強く予測できるか疑問である。想定したとおりの被害が生じるかどうか分からないので、Repairableであるという制限をつけてもうまくいくのか。
- Q. だからこそ、確率論的にやらないといけない。
- Q. 狭い立地地点で地震波が予測できれば可能かもしれないが、広い範囲で同一の地震波で設計して、そのような判定ができるのか。
- Q. 現実にかかることは、確率事象であるから確率で表せばよい。
- Q. 1橋だけRepairableか予測しても仕方なく、地域全部の橋をやる必要がある。
- Q. なかなか難しい。今ある中で、最も簡単に守れるルートをまず決めて、順次補強していけばよいという話があったが、結局うまく決められず、道路の等級だけで決めてしまった。本当の意味で順序を決めることはできなかった。

3. その他

(1) 全体会議の予定

日時：1月22日(木) 14時~

場所：プラザエフ(主婦会館)

(2) 第1分科会・次回の予定

日時：3月3日(水) 14時~

場所：土木学会

第7回 第1分科会 会議議事録

日時：平成11年3月3日（水） 14:00～17:00

場所：土木学会

出席者：宇佐美委員長，伊藤主査，青木，杉浦，奈良，山口，依田，加藤，中村，藤田，矢幡，織田，
以上12名

- 資料：I-7-1 第7回議題
I-7-2 第6回 第1分科会 会議議事録
I-7-3 平成10年度第1回合同会議議題
I-7-4 (その1) 耐震性能照査体系（試案）
(その2) 性能照査体系（防護柵の場合）
I-7-5 「性能照査」に関する検討資料のまとめ方について（案）
安全性照査式のフォーマット比較，信頼性レベルの設定方法の考え方
I-7-6 久木，石川：住宅の構造安全性に居住者が求める性能および水準に関する研究，
建築学会構造系論文集，1998.11.
I-7-7 限界状態の明確化について
I-7-8 JSSC メガフロート技術研究組合：大規模浮体構造物（メガフロート）の設計信頼
性の評価に関する研究報告書
I-7-9 橋梁（鋼構造）の機能保持限界の検討 No.1

議事：

1. 前回議事録の確認

質疑応答

- Q. 7頁の質疑応答の上から3行目は，非超過確率ではなくて超過確率である．論文でも意味が逆になっている．
- Q. Vision 2000 はかなり厚い資料であるが，Bertero の書いた30ページほどの関連論文がある．今，翻訳中なので出さねば持ってきたい．
- Q. 3ページの下から3行目の「加速度応答スペクトルの形に」は「加速度応答波形の包絡線の形に」である．
- Q. 4ページの上から13行目は「復元力だけでは基礎に伝わる慣性力を評価できない」が正である．

2. 1月22日開催合同会議の概要

- ・各分科会の中間報告を行った．
- ・第1分科会（伊藤主査）
性能照査体系，要求性能マトリックス
- ・第2分科会（三木主査）
低サイクル疲労（限界ひずみ），脆性破壊（材料靱性値），ローカルひずみの実験と解析
- ・第3分科会（後藤主査）
解析ツールのベンチマーク問題（要素分割によるひずみの収束）
- ・第4分科会（藤野主査）
高架橋の動的解析モデル，円形断面橋脚の動的解析結果，支承（金属，ゴム）の耐力と復元力モデル
- ・第5分科会（北田主査）
鋼製橋脚の耐震補強，新設設計例，設計技術者へのアンケート
- ・今後のスケジュール
次回の合同会議（8月20日予定）：報告書目次案提出．
第2回合同会議（12月頃）：報告書内容提出

平成12年3月末：報告書印刷
講習会：平成12年度中に2回程度

3. 各WGの報告・話題提供

(1) 耐震性能区分・重要度WG(宇佐美委員長, 伊藤主査)

1) 耐震性能照査体系 : 資料 I-7-4 (その1)

- ・要求性能と保有性能の解釈が人によって違っていることがわかり、保有性能のような曖昧なものをやめた。用語に混乱が無いように〇〇性能という言葉をもっと最小限にする。
- ・耐震性能照査全体を「要求性能」という言葉でまとめた。性能照査は以下のフィールドから成るとした。
 - 基本性能：性能の種類（橋脚の場合、構造安全性と復旧性）
 - 限界状態：基本性能に対する限界（橋脚の場合、終局限界と損傷限界）
 - 評価性能：基本性能に対して評価すべき性能
（終局限界＝変形性能、保有耐力、低サイクル疲労、損傷限界＝補修性）
 - 評価指標：評価性能を具体的に表すもの
（変形性能＝変位、保有耐力＝力、低サイクル疲労＝ひずみ、補修性＝変位）
 - 照査：応答値と限界値の比較（大小関係は一方に限定されない）
（最大応答変位＜終局変位、等価水平力＜保有水平耐力、応答局部ひずみ＜低サイクル疲労強度、
残留変位＜残留変位制限値）
 - 性能検証：設計における照査とは別に、性能を精緻に検証（認証）すること
- ・支承の耐震照査：金属系、ゴム系、Bタイプ、Aタイプ、全て弾性である。
- ・落橋防止システム：まず、桁かかり長を確保して、その fail safe として他のものがある。
- ・けたかかり長は計算された応答変位を上回るように決めるといことなので、限界値が無く照査とは言いにくい。
- ・基礎の耐震照査：基礎に非線形性を許す場合と許さない場合がある。
- ・道示の内容は、この表のフォーマットに大体当てはめることができる。

質疑応答

- A. ただ、桁かかり長だけが応答値は計算できるが、限界値がけたかかり長そのものになっており、どう考えたらよいのか。
- Q. 応答変位がけたかかり長の限界値になるのではないか。この限界値は計算しないと求められない。
- A. そうすると、これは照査の意味にならない。道示には他にもこのような規定があるのではないか。
- Q. 落橋しないための仕様と言えないか。
- A. 例えば、落橋しないために10cmにしろとか具体的に数値を決めたものが仕様ではないか。
- Q. そこに多少計算があっても仕様といってよいのではないか。
- Q. 道示の規定でも、 $70+0.5L$ というけたかかり長の最低値の計算がある。
- Q. 耐力とか変形性能は部材寸法が決まらなと計算できないが、桁かかり長も同様に計算しないと限界値が決まらないというこである。
- A. 最大応答変位や等価水平力は、耐力とか変形性能とは independence に決まるが、けたかかり長は応答に対して、それにしろさいということなので性質が違う。

2) 水平荷重－水平変位履歴曲線の包絡線と損傷度の関係のイメージ : 資料 I-7-4 (その2)

- ・最大応答変位が895以内を安全としている。安全の範囲で、残留変位の大きさで復旧性を判定する。
- ・鉄道橋の耐震基準では、復旧性を最大応答変位で判定している。新技術は残留変位であるが、残留変位と最大応答変位には相関関係がある。しかし、残留変位を計算で正確に求めることは難しいので、最大応答変位が一つの方法かもしれない。

3) 防護柵設置要項に耐震性能照査体系のフォーマット当てはめた場合 : 資料 I-7-4 (その2)

- ・防護柵は性能規定を取り入れたが、計算のみで設計ができるようになったわけではなく、基本的には

実験を行う必要がある。橋梁用防護柵のみ一部設計可能である。

- ・基本性能は、逸脱防止性、乗員安全性、2次被害防止性である。
- ・これらの要求性能は実験結果を照査する形になっており、実験は誰がやってもよい。
- ・性能を満足する標準防護柵も用意されている。防護柵は同じものを大量に作るので、この性能規定が機能すると考えられている。ただし、橋梁用のみ多種少量の要望があるので、実験が必要な場合もあるが、計算による設計もできるようになっている。

4) 要求性能マトリックス : 資料 I-7-4 (その2)

- ・Vision 2000 を参考にして作ったもので、横軸が耐震性能レベル、縦軸が地震動の強さを表すマトリックスで要求性能を表示。構造物の重要度により区別して、地震動の強さと耐震性能の対応を示す。

質疑応答

- A. この体系の用語の使い方とか分類がこれでよいか議論したい。
- Q. 防護柵の場合、応答と限界が定量的に表していないものがある。損傷状況で応答は目視、限界は車両が突破しないとなっているが、量であらわせないのか。
- A. 実験で車両が突破するかどうかということで、量に置き換えられない。定量化しにくいからこそ性能設計とも言える。
- Q. 定量化しにくいものは、応答・限界とは別項目にまとめた方がよいと思う。
- A. それは基本性能だろう。防護柵設置要項では逸脱防止性、乗員安全性、2次被害防止性となっているが、基本性能の考え方にもかなりばらつきがある。いずれにしても、防護柵設置要項は道路協会から出る最初の性能規定型の基準である。
- Q. 今、道路協会で道示の改訂作業を進めている。これは枠の中に書かれている仕様のものを別にし、解説に書かれている性能を前に出すという作業である。平成11年度末に発行できるように進めている。
- A. 道示で塑性変形を考えるのは橋脚だけで、後はほとんど弾性である。支承や落橋防止システムは塑性変形状が分からないために弾性としているが、本来は塑性変形を考えた設計が必要だろう。
- A. 弾性設計はばらつきが少なく、やりやすい設計法ではあるが、基準に塑性も認めるように書かれていないとできない。
- A. 具体的に用語について疑問点はあるか。
- Q. 表の全体をおおむねに要求性能と書かれているが、自分のイメージとしては、要求性能は表の左枠に入るべきものであるが。例えば、「落橋しない」という要求性能に対して、けたかかり長があるのではないか。
- A. 要求性能と保有性能という言葉に混乱があったのでこの様にした。ここでは、応答が限界を満足するというのを「要求性能」という解釈で考えた。保有性能は要求性能に具体的な数値が入ったものとする意見もあった。以前の考えでは、生ずる応答を要求性能、限界を保有性能と解釈していた。
- Q. 地下構造物だと「水が入らない」という要求性能が最初にあって、それを工学的表現に表すのでは。
- A. 建築だと「基本要請」に対して「目標性能」がある。
- A. 施主が要求性能を決めて、エンジニアが目標性能を決めるというイメージだ。土木構造物は施主側というイメージがないので、ダイレクトに要求性能とした。
- Q. 日常的な言葉で表したものが要求性能であって、評価性能とか照査指標はそれを実現するための方法と思う。
- A. そうすると表全体ではなくて、基本性能だけが要求性能にあたるということか。
- Q. 鉄道の基準では、耐震性能1～3の内容は言葉で表されており、それが要求性能に当たるのではないか。
- A. この案では、限界値にいろいろグレードがあるのでマトリックスがある。基本性能にグレードがあるわけではない。
- A. いろいろな人の意見は違っているが、Vision 2000 では Demand (要求性能) と Supply, Capacity (保有性能) があり、Demand と Supply の間で照査する形である。建築学会や土木学会のコンクリートも同じである。
- Q. 耐震性能1～3は想定外力に対して定めるものであるから、結果的に要求性能と同じになるのではないか。
- A. それはあくまで耐震性能のグレードであって、外力のグレードによって要求される耐震性能は違ってくる。構造物の重要度に応じて決めた地震動と耐震性能の組み合わせが要求である。

- Q. 道示では、レベル2の地震だけにしか耐震性能区分が与えられていない。したがって外力に応じて、要求をマトリックス表示することはしていない。
- A. ここでは、マトリックスの横軸が耐震性能1～3に対応することでよい。
- A. うまく整理しないと、建築や土木のコンクリートと整合しなくなる。
- Q. かなり前の委員会で、レベル2の地震に対してのみ耐震性能区分を考えるという議論があったが、このように地震動の大きさと構造物の耐震性能を区別してマトリックスに表した方がより汎用性がある。
- A. これは、Vision 2000を参考にしているが、家村先生もこの様なマトリックスを使っている。
- Q. 今、問題になる点は要求耐震性能マトリックスと耐震性能照査体系をうまく関連付けることではないか。
- Q. マトリックスの横軸は構造物自体が要求する性能と見ることができるのではないか。非常に重要な構造が全ての地震に対して無損傷という要求をすることもあり得る。
- A. 構造物の重要度を決めれば地震動と耐震性能レベルの1対1対応は決まるので、結果的には構造物自体が要求する性能と同じになる。しかし、解釈はランク分けされた構造物に対して要求される性能と考えている。
- Q. マトリックス中の線に乗らなくてもよいのであれば、耐震性能レベルは要求性能と言わなくてもよいかもしれない。
- A. 当然のことながら、線に乗る必要はなく線の左側にあることを照査する。
- A. 建築の場合、構造物のグレードはもっと多くあるが、土木で3つのグレードを考えたら、この様になる。
- Q. 構造物のグレードを特定すれば、マトリックスは必要なくなり、横軸の耐震性能だけの話になる。耐震性能を細かく区分すれば、それが要求性能になると思う。
- A. いろいろな解釈があるが、構造物のグレードがあって、構造物に要求される性能は外力に応じてマトリックス表示されると考えている。
- A. 時間も限られているので、議論は次回か他の委員会でしたい。
- A. 表や図は前回の委員会の後、改訂しているので、次回にでも持ってきてほしい。

(3) 性能照査WG (藤田委員): 資料 I - 7 - 5

1) 検討事項

- ・以下の3項目を考慮。
 - ① ISO2394と現行設計基準の比較
安全性照査式のフォーマット比較、ISO2394の要求事項への対応状況比較
 - ② 安全性確保の方法を提案
信頼性レベルの設定方法、部分安全係数の設定方法
 - ③ 安全性照査方法を提案
基準作成者と実務者の役割を明確化(実務者に余り自由度を与えない)

2) 安全性照査式のフォーマット比較

- ・ISO2394, 鋼構造物設計指針, 鋼・コンクリート共通構造設計指針, コンクリート標準示方書を比較。
- ・鋼構造物設計指針は多少違っているが、鋼・コンクリート共通構造設計指針, コンクリート標準示方書は全く同じ。
- ・ISO2394に対応できていない項目は、重要度係数を「信頼性レベルに応じて設定する」ことである。

3) ISO2394の要求事項に対する各基準の対応

- ・ISO2394と鋼・コンクリート共通構造設計指針の要求事項を比較した。
- ・各限界状態に対して信頼性レベル(破壊確率)を定めるという要求に対しては、国内基準はまだ対応はできていない。
- ・また、信頼性レベルの照査が要求されているが、国内基準は要求されていない。
- ・その他の要求はほぼ対応できているようである。(鋼・コンクリート共通構造設計指針[平成4年]は当時のISO2394のversionをかなり調査したと聞いている)

4) 信頼性レベルの設定方法の考え方

- ・各限界状態で $C_f \times P_{fa}$ (期待リスク) < L_a (許容リスク) となるように許容生起確率 P_{fa} を設定する。
- ・各事業体が常時の限界に対して用意している補修予算は、地震時に補償できる金額と同じと考えて L_a を設定する。

5) 部分安全係数の設定方法の考え方

- ・荷重係数 γ_f , 材料係数 γ_m , 構造解析係数 γ_a , 部材係数 γ_b , 構造物係数 γ_i の5種類で構成される例を説明。
- ・荷重の設計値は95%フラクタイル値。
- ・材料強度の設計値は5%フラクタイル値。
- ・構造解析は断面力の平均値を算定する方法。
- ・耐力算定方法は耐力の平均値を算定する方法。
- ・ $\gamma_f, \gamma_m, \gamma_a, \gamma_b$ は不利な方向へばらつくことを考慮して決定 (例えば 1σ) 。
- ・すべての安全係数で見込まれる安全性余裕 (ここでは、荷重と材料強度に関する余裕のみ考慮とする) が、前記の許容生起確率に等しくなるように構造物係数 γ_i を決める。

質疑応答

- Q. 信頼性レベルの設定方法の資料で、常時の許容生起確率 P_{fa} に T_s (供用期間) が掛からなくてもよいのか。
- A. 常時の許容生起確率を $10^{-2} \sim 10^{-3}$ に決めたということで、 T_s は掛からない。
注) 常時の限界状態時コスト = $a \times T_s$ (a : 1年間の維持予算), レベル2地震時のコスト = $10000 \times a / \text{回}$, (常時のリスク = レベル2地震時のリスク) から、レベル2地震時の許容生起確率を定める。すなわち、 $1.0 \times a \times T_s \times 10^{-2} \sim 10^{-3} = 0.1 \times 10000 \times a \times P_{fa}$ (1.0 および 0.1 は常時およびレベル2地震の発生確率) より、 $P_{fa} = T_s \times 10^{-5} \sim 10^{-6}$
- Q. $10^{-2} \sim 10^{-3}$ の根拠は。
- A. 根拠はなく、イメージである。
- Q. 構造物係数 γ_i を決めるためには、 S と R の変動係数と許容生起確率があれば良いということか。
- A. そうである。
- Q. R の変動係数は求めやすいが、 S の変動係数は求めるのが難しい。どうやってやるのか。
- A. S の中に入ってくるのは、荷重のばらつきと構造解析手法の持つばらつきであるが、今のところデータは十分でないので問題はある。
- Q. これまでの観測地震波を全て集めたらできないのか。
- A. $L1$ くらいはできるかもしれないが、 $L2$ はほとんど無い。
- Q. $L2$ の変動係数は $L1$ と同じと仮定できないのだろうか。
- A. 恐らくデータに基づいて決めることはできないが、「こうやって決めた」という痕跡を残すことが重要だと思う。
- Q. 模擬地震波を作るときには、変動係数は必要としないのか。
- A. 必要ない。乱数を発生させて、スペクトルに合うようにするだけである。
- Q. この決め方は、おもしろいと思う。
- A. 採用するかどうかは別にして、安全係数決定の議論過程を示すことも重要と思う。
- Q. 数値を決められなくても、考え方は示すべきである。
- A. 今までも議論されていると思うが、記憶の中にあるだけで公表されたものはない。
- Q. 考え方を示しても、 $L2$ 地震は将来的に十分なデータを集めることはほとんど不可能である。結局、適当に決めることになってしまうのではないか。
- Q. 鋼構造物設計指針のフォーマットで部材強度係数 ϕ の中には、鋼・コンクリート共通構造設計指針の材料係数 γ_m , 部材係数 γ_b が含まれており、結果は同じであるという説明だったと思う。資料があったはずなので探してみる。
- Q. 報告書では部分安全係数決定の考え方だけを示すのか、それとも係数の値までを示すのか。
- A. できれば値を示した方がよい。
- Q. 今の話だと、許容生起確率は限界状態時コストをいくらに見積もるかということとかなり違ってくるので、レベル1地震で常時の100倍、レベル2で10,000倍とかいうコストから得られる係数が妥当かどうか分からない。
- Q. 真の実施コストが見つければ良いという話だが、この前の議論にあったように実施コストではなくて、納税者のコンセンサスによる支払意志のコストである。コストの計算には不確定なものが多く入ってくる可能性があり、実際には余り意味のない値になる。

- A. 土木と言えども年間予算がいくらかという世界である。そのことから、万が一のときにどの位の費用を考えておかなければいけないのかという議論もしたこともある。したがって、この考え方で案外うまくいくのではないかと考えている。それでも負担できないコストは保険を掛けることになるのだろう。
- Q. 具体的に数値を出してもらった方が議論しやすい。2次設計によって追加される補強や建設コストが膨大になり、何もしない方がいいという議論になるか、それとも全体の損失を考えたときに、そのコストは大したことがないことになるのか。今は、阪神大震災に対して何かをしなければならないということで、いくらまで費用をかけてもいいかは分からないが、補強や新設をやっている。100年間の維持コストと比較して、やるやらないを決めることになるのだろうか。要求性能も、これによって決まってくる。
- Q. レベル2地震は再現期間が供用期間の10倍で、限界時コストが10,000倍ということであるが、そのオーダーによって違ってくる。妥当な数字が出てくるのであれば、このやり方でもよい。
- Q. 資料にある発生確率は超過確率と同じか。
- A. 超過確率は供用期間に想定するレベル2以上の地震が発生する確率で、ここで言う発生確率と同じである。
- Q. そうすると、50年間にレベル2以上の地震が発生する確率が10%ということで、再現期間は500になる。
- Q. 川島先生の論文では非超過確率になっていたが。
- A. それは間違いになる。資料の「部分安全係数の設定方法の考え方」でも荷重は超過確率5%で、材料強度は非超過確率5%が正となる。
- Q. 道示のレベル1、レベル2タイプ1、タイプ2の超過確率は再現期間が決まれば計算できるのか。
- Q. 「供用50年での超過確率10%の地震は、500年に1回は必ず起こる」ということであるが、道示の改訂では、再現期間は議論されているのか。
- Q. レベル1は供用期間中に2,3回起こる地震であるから超過確率は100%、レベル2のタイプ2は稀にということで、およそ1000年、タイプ1は関東大震災級でおよそ100年ではなかったか。
- A. 道示では供用期間を明確にしていないが、今は100年とするよう議論されている。AASHTOなどでも100年となっている。BSは120年である。西川さんの話だと200年持てば永久と同じだと言われている。
- Q. そうすると、資料のレベル1が道示のレベル2タイプ1に相当することになり、超過確率63%なので発生する可能性が高い。
- A. 道示では再現期間を明確にしていないので、調べてみないとわからない。
- A. 信頼性レベルの設定の表は、数値が分かっているものは書いた方がよい。
- Q. 書くにあたっては、道示に合わせた方がよいのか。再現期間はVision 2000とも違っているが。
- A. 道示に合わせた方がよい。Vision 2000は最大の地震の再現期間は970年で、耐用年数は50年ではなかったか。
- Q. 50年は川島先生の論文に書いてあることで、Vision 2000や家村先生の論文には再現期間しか示されていないが。
- A. おそらく970年という数値は、供用期間50年の超過確率を2%として逆算されるのだろう。
- Q. フォーマットは鋼・コンクリート共通構造設計指針が最もよいのか。鋼構造物設計指針と違うと問題にならないだろうか。
- A. 基本的には書き換え可能ということで、問題にならないと思う。このフォーマットを使って、係数を信頼性レベルによって決めたということでもまとめられると思う。
- Q. ISOでは、構造物係数 γ_i はどこに入ってくるのか。
- A. 重要度係数 γ_n が構造物係数 γ_i とほぼ同じ意味になる。

(3) 限界状態WG (奈良委員)

1) 資料I-7-7: 限界状態の明確化について

- ・鋼製橋脚の限界状態として5つを考慮
 - 終局限界, 疲労限界, 機能保持限界, 機能回復限界, 使用限界
 - 終局限界の中には低サイクル疲労を含めて6つの状態を考慮する。
- ・橋梁システムの限界状態
 - 例えば支承の限界状態と橋脚の限界状態は密接な関係があるので、システムとして限界状態を考え

る必要がある。

システムの限界状態

逐次崩壊限界、終局限界、疲労限界、機能保持限界、機能回復限界、使用限界

2) 資料 I-7-8: メガフロートの信頼性の評価に関する研究報告書

- ・メガフロートは防波堤、係留システム、浮体から成るシステムで構成されており、全体システムの被災シナリオを想定している (P.25)
- ・メガフロートの限界状態は以下のものを考えている。
 1. 終局限界状態：システム崩壊限界状態、逐次崩壊限界状態、強度限界状態
 2. 使用限界状態
 3. 疲労限界状態
- ・目標信頼性レベル設定の考え方が述べられており、安全性指標 β の例が示されている。
目標安全性指標 β の値 (P.26)：DNV 1988 の例、破壊の程度と影響度から分類した β の推奨値
他の構造物とのリスク比較 (P.27)

質疑応答

- Q. 限界状態の明確化に関して、具体的な内容はどうか。
- A. 例えば、機能保持限界に対して大損傷、中損傷、小損傷という分類をして補修を想定した限界を考えた方がよいのか。
- Q. 要求性能マトリックスの中で考えているので、機能保持限界を考えることは必要で、それをどうして表すかということこれから考えたい。
- A. 橋脚だけでなく他のものもあるので、難しいのではないかと思います。
- Q. もっと難しいのは、部品だけでなくシステムとして考えたときの機能保持限界をどうやって表すかということだろう。橋脚だけ残留変位を押さえても、それだけで機能保持できるかどうか疑問もある。
- Q. 難しいことはイメージできるが、何がどう難しいのかを明確にして今後の研究課題を示す必要がある。
- Q. 資料で「機能保持限界」が中損傷で、「機能回復限界」が大損傷に当たるのか。それから、この疲労限界は低サイクル疲労ではなく、高サイクル疲労のことか。
- A. その通りである。
- Q. そうすると、終局限界の次に機能保持限界と機能回復限界を合わせて損傷限界として、それらの下に疲労限界と使用限界を書いてもらった方がよい。
- Q. 逐次崩壊限界というのは何か。
- A. 例えば、ラーメン橋脚で基部に局部座屈が生じた後、はりに局部座屈が生じて構造物が崩壊にいたるということである。
- Q. Progressive failure ということか。
- A. システムの冗長性、Redundancy を照査するということである。
- Q. Redundancy のないものは1カ所が壊れると全体の破壊になるが、Redundancy があるものは複数箇所が壊れないと全体の破壊にならない。この場合は何カ所なのかということも問題になる。
- A. 従来の終局限界では部材の終局限界＝構造物の終局限界と考えている。
- Q. それでは、橋梁システムの終局限界と逐次崩壊限界は違う意味か。
- A. 逐次崩壊限界は1つの構造物の限界で、システムの終局限界ではない。逐次崩壊限界は1つの構造物のパーツによるもので、システムの終局限界は複数の構造物で考えるものである。
- Q. システムの終局限界を定めておけば、逐次崩壊限界もその範疇に入るのではないか。
- A. 部材レベルの終局限界は考えなくてもいいのか。
- Q. 表の下の段に鋼製橋脚とか従来の構造部材があり、部材レベルの終局限界はそのカテゴリーの中に入るのではないか。橋梁システムのカテゴリー中の終局限界は、あくまでシステムとしての終局限界ではないか。聞き慣れない言葉を使うと理解しづらくなる。
- A. 表の下の段は従来の部材だけの限界である。
- Q. 部材というよりは部品の終局限界で、それとシステムの終局限界と分けて解釈した方が分かりやすい。
- A. 橋梁システムの中で、例えば支承がだめになったら終局限界だと考えることもあり得る。
- Q. 個々のものの終局限界とは違ったことを考えるのが、システムの終局限界ではないのか。
- Q. 橋梁システムの中には1つの部材が壊れるとだめになるものもあり、複数の部材が逐次壊れないと

だめにならないものもあるので、両方書いてあるとイメージした。

- Q. そうすると逐次崩壊は特にいらぬのではないか。支承が壊れても必ずしもシステムの終局限界にならないが、個々の部品の終局限界とは違ったクライテリアを持つのがシステムの終局限界ではないか。
- Q. 逐次崩壊限界を省いてしまって、終局限界の中に1つの部材で決まってしまうものと、複数の部材で決まるものを分ければよいということか。
- Q. その通りである。
- Q. 単に書き方の違いで、解釈はほとんど同じようだ。
- A. メガフロートの報告書 P.16 でも、終局限界の中にシステム崩壊限界状態、逐次崩壊限界状態、(部材)強度限界状態が分類してある。ここで、議論したいのは、課題として鋼製橋脚だけの限界状態を明確にしたらよいのか、それとも橋梁システムの限界状態を明確にしたらよいのかということである。
- Q. 難しいことは理解できるが、何が問題かを具体的にしてほしい。

(4) 機能保持限界WG (織田委員)

資料 I-7-9: 橋梁(鋼構造)の機能保持限界の検討

・以下の検討方針で進める。

- ①被害報告の再調査：機能損傷の分析・整理、採用された復旧工法・期間
- ②輸送機能限界値の検討：走行性、残存強度に関するクライテリア
- ③被災～機能回復までのシナリオ作成：復旧工法、復旧期間の想定

・橋脚の機能保持限界の設定例

①新技術報告書

機能保持限界を A～D の 4 つに区分。

橋軸方向の機能保持限界：落橋しない = 最大応答変位 < けたかかり長 / 2

橋軸直角方向の機能保持限界：伸縮装置での段差 10cm、遊間の開き 20cm から残留変位 $h/150$ を設定。その前後の限界値として、残留変位 $h/100$, $h/300$ を設定。無損傷の残留変位は $h/1000$ 以下。

②道示

上下部構造の最大相対変位 < けたかかり長

B種の橋では残留変位 < $h/100$ (兵庫県南部地震で復旧困難であったものは、残留変位 $h/60$ または 15cm 以上)

質疑応答

- Q. 限界状態WGでは上部構造、支承、落橋防止、橋脚などを考えて橋梁システムの限界状態を考えないといけなく思っていたが、機能保持限界WGと重複することが多いようだが。
- Q. 壊れるシナリオではなくて、壊れた後の回復のシナリオを検討されるのではないですか。
- A. 被害報告から、壊れるところのシナリオを調べるつもりだった。
- Q. 実際にどういう場合に建て替えたかとかを、何に着目して基準を作られるのかと思った。
- A. そうすると、壊れた後を重点的に検討すればよいのか。
- Q. 連携をとっていただく必要はある。
- Q. 機能保持限界というのは、最低限の機能を保持できる限界のことか。
- A. そのグレードは中損傷に当たる。
- Q. そうすると、機能回復限界は数日以内の補修で復旧できる限界になるのか。
- A. 機能回復限界は作っていなかった。
- Q. それは復旧がすぐできるかどうかの重要な限界である。
- A. それは小損傷で最重要構造物に適用される。小損傷が、多分その機能回復限界になる。
- Q. 「回復」というのは、長期間かかっても回復することが可能という意味にとられるのではないか。
- Q. そうすると、機能保持は「回復することができる」を含めて3種類に分ければよいのか。
- A. 「回復できる」は建て替えないことと解釈すれば、道示でいう $h/100$ 以下になる。先ほどのカテゴリーでは大損傷以下になる。
- Q. 新技術くらの分け方だと、 $h/100$ は終局限界になっているのではないか。崩壊と機能保持の境なので、終局限界と同じになっている。

- A. 元の意味は違うが結果的には同じである。そうすると、先ほどの機能回復限界とは違うものとなる。
- Q. 機能回復限界は短期間で復旧できるという意味で書いた。終局限界の少し手前である。
- A. 新技術の報告書では、そういう限界は既に入っている。
- Q. 言いたいことは、機能は失われているが人命は損なわないという限界があってもよいのではないかということである。機能保持限界が終局限界と同じだと、すべての橋について分けなくてはいけなくなる。
- A. 荷重－変位曲線で、崩壊を破壊の中で決めるように修正したので次回に持ってくる。
- Q. 終局限界は機能回復限界と違う定義で使ったほうが分かり易い。また、終局限界は残留変位では規定できず、明確な基準はないが、上の重量を支え多少の余震に対しても倒れなければよいという限界である。
- A. それは、 $0.95H_{max}$ に当たる。我々は、残存強度はまだあるが、破壊と見なしている。
- Q. 破壊はそのように耐力で見るべきで、残留変位ではないと言いたい。
- Q. 建築の場合だと、変位で見ているが。
- A. 建築は層間変位 $h/200$ である。人間が逃げられるかどうかということである。
- Q. そうすると、橋脚も立っていればよいということにならないのでは。
- A. 建築と土木では条件が違うのでは。橋の下に人が常時居るわけではない。
- Q. 下に居なくても、上に乗っているわけで、 $h/100$ 以前のところで被害を受ける可能性はある。
- Q. 直接の被害原因になるかどうかの問題にある。安全性の定義を「構造物が原因で人命を損なわない」と考えてはどうか。
- A. 安全性の定義については藤野先生も疑問を持っていた。ここでは明確にするために、構造安全性という呼び方をしている。安全性だけでは、橋脚が壊れなくても上の車が飛び出すようなことまで含まれてくる。
- A. コメントだが、改訂された道示では最大応答変位以上に、けたかかり長を決めているので機能保持限界の規定に含めなくてもよい。
- Q. 逆に言うと、けたかかり長というのは終局限界のカテゴリーに入るのか。基本性能だと安全性の項目になるのか。
- A. 復旧性に入れてあり、落橋すると復旧に長期間かかるので、短期間で復旧するための性能と考えていた。しかし、落橋を破壊とすると安全性の話に変わってしまうのか。

3. その他

第1分科会・次回の予定

日時：5月14日（水）14時～

第8回 第1分科会 会議議事録

日時：平成11年5月14日（金） 15:00～18:00

場所：瀧上工業・東京本社

出席者：宇佐美委員長，伊藤主査，青木，山尾，奈良，山口，杉浦，中村，織田，以上9名

資料：I-8-1 第8回議題

I-8-2 第7回 第1分科会 会議議事録

I-8-3 耐震性能照査体系（試案）[I-7-4の改訂版]

I-8-4A V. V. Bertero, EERC at UC Berkley: Performance-Based Seismic Engineering: A Critical Review of Proposed Guidelines, "Seismic Design Methodologies for Next Generation of Codes" (edited by P. Fajfar and H. Krawinkler, pp.1-31, 1997.抄訳)

I-8-4B 上記論文の Figure 1-4

I-8-5 耐震設計に用いるレベル2地震動（案）（耐震特別委員会WG1報告）

I-8-6 橋梁の（輸送）機能保持限界の検討

I-8-7 鋼構造物の地震時限界状態の明確化について

I-8-8 目標水準分科会—キャリブレーションによる研究（建築総プロ8年度報告書）

I-8-9 耐震設計について（池田）

議事：

1. 前回議事録の確認

質疑応答

Q. p.4 質疑応答で上から4番目のAns.にある「塑性変形を考えるのは橋脚だけ」→「…橋脚と免震支承だけ」，「支承や落橋防止」→「金属支承や落橋防止」になる。

Q. p.6 質疑応答で下から3番目のAns.にある「970年という数値は供用期間50年の超過確率を5%として逆算」→「…2%として逆算」である。超過確率が小さいときは，ほぼ[超過確率]×[再現期間]=[供用期間]になる。

Q. 先ほどの話では基礎も弾性になるのか。

A. 基礎に主たる非線形性を許す場合と許さない場合が挙げられているが，前者は壁式橋脚の橋軸直角方向に限られており，ほとんどが後者である。したがって基本的には弾性である。

A. 壁式橋脚の橋軸直角方向は壊れないので，やむを得ず基礎で塑性変形させている。可能ならば上で壊す考えである。道示だけでなく鉄道も同じ考えである。

A. アンカーボルトも基本的に弾性である。

2. 各WGの報告・話題提供

(1) 耐震性能区分・重要度WG

1) 耐震性能照査体系：資料I-8-3（宇佐美委員長）

・以前は，けたかかり長に対する基本性能および限界状態を復旧性・損傷限界としていたが，前回の議論により，構造安全性・終局限界とした。

・要求耐震性能マトリックスにおいて，構造安全性に関する破壊と復旧性に関する崩壊（残留変位で照査）を区別し，崩壊は破壊よりも少し手前にあるものとした。

質疑応答

Q. 先ほどの崩壊の意味は，「倒れてはいないが復旧できない」というものか。

A. そのとおりである。

Q. 普通構造物でも，レベル2・タイプIIの地震に対して崩壊を許していないが，倒れて（破壊して）

はいないが崩壊しているというカテゴリーがあってもよいと思う。

A. 実際に、土木構造物でそういうカテゴリーが許されているのか。

Q. 道示でも、残留変位 $h/100$ を照査するのは B 種の橋だけで、A 種は変位の大きさに制限がない。

2) Performance-Based Seismic Engineering : A Critical Review of Proposed Guidelines, "Seismic Design Methodologies for Next Generation of Codes" : 資料 I - 8 - 4 (山口委員)

・まえがき

震災の程度は地域の状況に依存し、被害規模は増加傾向にある。

都市の脆弱さを改善することにより、被害の低減を図る必要がある。

解析技術は進歩したが、設計や補強には余り改善が見られない。

そこで、SEAOC は耐震設計だけではなく、施工、維持管理、機能の改善も含めた性能照査型耐震工学指針を提出。

・性能照査型耐震工学

異なった強度の地震動に対して、想定した損傷以下で済むように構造物を設計し、維持するための設計・施工・維持管理工学。

性能照査型耐震工学の枠組みは、コンセプト、設計、施工からなる。

最初のキーとなるステップは地震関連費用を最小にするために性能設計目標を選択することである。

性能設計目標は地震と性能水準を結びつけ、PDOM で表される。

性能設計目標は 3 つのグレードの目標とエンハンスド目標で定義される。

依頼者と設計者の相談には PDOM とコストを組み合わせた 3 次元のグラフが有効

・性能照査型耐震工学の重要な問題

実務家と研究者が共同して、FEMA273 の報告書を作成したことは重要。

「性能照査型耐震工学」と呼ぶよりは、地震以外も考慮して「地震の危険性が高い地域における性能照査型工学」がふさわしい。

・性能照査型耐震工学に対する考察

ここでは、地震前、地震後も含めて考える必要がある。

Vision2000 や FEMA273 は性能照査型耐震工学の枠組みとなる。

建設予定地の適正評価が第 1 歩であり、次に最低限の性能設計目標の選定が必要である。

設計は、概念的全体設計、予備設計、詳細設計の順に行う。

SEOAC 暫定指針の設計法では以下の検討が必要：静的等価水平方法の修正、包括的な耐震設計法では簡略化と定量化が必要。

・結論

Vision2000, FEMA273, 274 を参考に米国コードの概念的な枠組みの変更が必要。

特に、地震動予測と多自由度系の応答予測に改善が求められる。

質疑応答

Q. この本の中には Vision2000 との関係は入っているのか。

A. この次の論文に書いてある。Vision2000 はかなり分厚いが、付録がほとんどで本文は短い。Bertero も付録のところをかなり執筆している。

Q. FEMA との関係はどうなっているのか。

A. FEMA は Federal Emergency Management Agency で緊急時対策のものである。これと SEOAC は内容的には同じ様なものである。

Q. この内容は社会的トータルコストを最小にするということを念頭に置いていけば整理しやすい。

Q. この論文では維持管理や取り替えのことには触れてあるが、社会的なコストのことは書いていないのか。

A. 最初に目標を設定するときに LCC を計算する中には、そういうことも入っている。3 次元グラフのダメージの中には、周りの建物が壊れることによって壊されるという項目もある。

Q. ダメージの中に何をを入れるかということである。建築の場合、施主の要求に社会的コストは余り入っていない。せいぜい、周りの建物の影響が入る程度だ。

Q. 4.6 の暫定指針設計法は震度法などの静的設計法のこと、次の包括的な設計法はいわゆる動的設計法のことを言っているのか。

A. 設計法の細かいところは示されていない。

- A. アメリカに震度法はない。
- Q. それから、概念的な全体設計法とは具体的には何を定める設計法なのか。例えば重要度を定めるようなものか。
- A. 地震以外の荷重を考え、それによって出てくる問題を、システム全体を考えた上で最小限にするということと思われる。
- Q. 他で、風も考慮しなければいけないという話があったが、地震も風も同時に考えるということは余りない。
- A. そうではなくて、この意味は、FEMA273 は地震荷重だけを対象にしているが、他の荷重も含んだ包括的な性能設計にしろということ、つまり、性能設計を地震だけに適用するのではなくて、他の荷重にも適用すべきということを行っている。
- A. 考えてみれば当たり前のことで、風で決まる構造物に対して、地震を考えるとときだけ性能設計をしてもおかしい。
- A. この論文自体が概念的で、総論は理解できるが、具体的にどうするのかはまだ明確ではない。

(3) 想定地震動WG

1) 耐震設計に用いるレベル2地震動(案)(耐震特別委員会WG1報告):資料 I -8-5(杉浦委員)

①3-1概説

- ・この資料は耐震特別委員会(土岐委員会)の最終報告書における地震動WG(大町主査)の原案である。今、委員会の幹事で第3次提言の取りまとめを行っている。
- ・土木学会第2次提言によるレベル2地震動の考え方や評価方法を具体的なもの。
- ・レベル2地震動は当該地点において強さを尺度とした最大級の地震動と定義し、再現期間は尺度として用いない。
- ・一方、レベル1地震動は試行錯誤的に定められてきており、レベル2地震動と対比する形では定義できない。
- ・レベル2地震動の評価は、地震の活動履歴、活断層の分布・活動度、周辺地盤などあらゆる情報を活用して評価する。
- ・地震動の算定手法には、経験的手法、半経験的手法、理論的手法があり、これらの特徴や適用範囲を十分理解して使う必要がある。
- ・対象地点で活断層が知られていない場合でも、レベル2地震動の下限としてM6.5の直下型地震を考慮する。
- ・レベル2地震動の評価には、種々の不確実性が含まれていることを十分認識しておく必要がある。
- ・今後の課題:レベル1地震動の明確化、深部地下構造の探査と評価、活断層の分布や活動度の工学的評価、震源過程の解明と予測。

②3-2対象とすべき地震の選定, ③3-3震源断層を想定した地震動の評価, ④3-4不確実性の評価

⑤3-5レベル2地震動の下限基準

- ・レベル2地震動の評価法が専門的に述べられている。

質疑応答

- Q. 道示のレベル2地震動との関係はどうなるのか。
- A. 全く関係はない。
- A. これは土木学会のもので、基本的には地盤情報を全て考慮して予測しようというものだ。
- A. 設計者に明示するような形にはなっていない。
- Q. 自分で設定しろと言われてもなかなか難しいと思う。
- A. 一応3-2以降で、硬い地盤および軟弱地盤に対して理論地震動の設定ガイドラインや不確実性に対する評価法について述べられているが難しい。
- A. 一般の構造設計者にとって、数値が与えられていないので、これはかなり難しいと思う。
- Q. 今、ここの委員会で信頼性を適用するためには確率が必要になる。具体的にレベル2地震の強さが分かったとして、この方法で再現期間は出てくるのか。つまり、ある断層から地震動を予測する際に、発生確率も求められるのか。
- A. その確率は設計で必要になるのか。
- Q. それがないと、安全係数は定められない。

- A. それははっきり書いていなく、場所によって違うと言っている。1000年の所もあれば一万年の所もあるということだ。
- Q. 直下型と海洋型は発生頻度が違うので分けて考える必要がある。トータルコストを求めるためにも発生確率は必要である。
- Q. 発生確率を求めて、どの様に使うのか。
- A. 壊れたときの損失が100年に1回とか、1000年に1回ということになる。
- A. 資料の8ページで下から2番目のパラグラフに、「現時点ではこうした点をいかに解釈するかを含めて、レベル2地震動を確率論的な地震危険度レベルと定量づけて定義することにコンセンサスが得られているとは言い難い」と述べられており、地震工学的に精密に確率は求められないと言っている。
- Q. 設計的には、具体的に決めないと設計ができない。
- A. この報告は手法を示しているので、各地点毎にあらゆる手法を使ってやりなさいと言っている。この中では数値をいくりにするかは提言していない。
- Q. 今の議論はよく分からないが、前回話題に挙げた安全係数の決め方において発生確率はどの様に使われるのか説明してほしい。前回議事録のp.5でいうと、許容生起確率 P_{fa} を決めないといけないということか。
- A. 許容という意味は良く理解していないが、生起確率を決めないといけないと言っている。
- Q. P_{fa} を各地震毎に決めてほしいということか。
- A. それは、現在の設計基準からキャリブレーションで決めることができる。
- Q. 発生確率というのは、耐用年数の間に発生する確率のことか。先ほど言っていた50年に2%のことか。
- A. 神戸の地震は2000年に1回とか言われるが、それを置き換えることができる。
- Q. 2000年は再現期間で、建造物の耐用年数が50年としたときに発生する確率が例えば2%とかの値を決めてほしいということか。
- A. その通りである。
- Q. P_{fa} が分かったとして、 C_f というのはどうやって決めるのか。
- A. 発生によって損失するコストとして求めることができる。
- Q. それは難しい。
- Q. 難しいかもしれないが、何とかできる方向だろう。
- A. 篠塚先生の話で、アメリカでは損失コストを求めている。
- A. 難しいかもしれないが、何をどうすべきかという方向をしめしておかないといけない。 P_{fa} 、 C_f が分かったとして、次に許容リスク L_a はどうするのか。
- Q. 正しくは、その状態が発生する確率と、その状態で破壊を許容する確率は別のものとして扱われている。
- Q. 議事録でいうと、建造物係数 γ_i を決めなければならないということだが、それはSとRの平均値、変動係数および許容生起確率があれば求められるということか。この許容生起確率が先ほどの2%とかになるのか。
- A. 許容生起確率は許容リスクから決まるもので、地震が発生する確率とは別である。今の議論で2%は地震が発生する確率で、許容生起確率はその地震によって破壊しないための確率だと思う。
- Q. そうすると許容生起確率は破壊確率から決まるもので、これによって建造物係数 γ_i を求めれば良いということか。
- A. その通りと思う。
- A. 資料の3.2.3節では、レベル2地震は複数想定され、再現期間もいろいろになる。建造物の動的特性によっても危険となる地震が違ってくると述べている。したがって、レベル2地震の発生確率を決めることは困難と言っている。
- Q. 現行の示方書を適用して設計をしているのであるから、これから逆算して建造物係数 γ_i を決めることができる。
- Q. 今は具体的にできなくても、方法が分かっているのならば報告書に書いておくのがよい。
- A. 現在、発生確率が分からなくても設計しているが、これは暗黙の内に発生確率を想定していることになる。
- Q. それは発生確率を決めているのではなくて、地震力の大きさだけを決めていただけである。地震動の大きさだけから、その発生確率を求めることはできない。
- A. 確率に基づいた設計フォーマットを当てはめてキャリブレーションすれば、発生確率を定めることができる。

- Q. そのような逆算はしようがないのではないか。地震動の強さがあるだけで、確率の情報は何も入っていない。
- A. 確率の値は分からないけれども、我々は現実にもものを作っている。
- Q. それは現行の考え方で作っているだけである。
- A. 現行の結果に確率に基づく新しいフォーマットを当てはめてキャリブレーションすればよい。
- Q. それは安全係数だけが求められるのであって、それから確率を求めることはできない。
- Q. 普通には地震の統計値以外から再現期間を求められるとは考えられない。
- A. 確率の分布形などを仮定することでキャリブレーションができるのではないだろうか。
- Q. 分布形状を仮定するにあたっては、強度に関するものと時間に関するものがあって難しい。
- A. 議論はここで打ち切って、次回に資料に基づいて続けたい。
- A. ここで、建築のキャリブレーションに関する研究を紹介します。

2) 目標水準分科会—キャリブレーションによる研究(建築総プロ8年度報告書):資料 I-8-8(織田委員)

- ・ 現行の建築基準法で設計された建物の安全性を求め、コードキャリブレーションのための資料を提供している。
- ・ 計算手順は、
 - ① 現行基準で建物を設計する。
 - ② 建築物荷重指針などから、50年最大値の加速度(速度)スペクトルの平均値と変動係数を求める。
 - ③ スペクトル適合模擬地震動(平均レベル)を作成する。
 - ④ 平均レベルの地震動の倍率を変えたものを幾つか用いて時刻歴応答解析を行う。
 - ⑤ 地震動の入力倍率と建物の応答の間で回帰曲線(直線)を求める。
 - ⑥ 地震動の平均と変動が与えられているので、回帰直線の関係を用いて応答の平均と変動係数が計算できる。
 - ⑦ すなわち、ある応答の限界値に対して信頼性指標 β が求められる。
- ・ 建築物荷重指針では、地震の再現期間と変動係数が与えられているようである。例えば東京の50年最大加速度の平均は225galで変動係数は60%と与えられている。
- ・ 地震動の入力倍率と応答の最大層間変形角の関係は、倍率1で約1/200, 3倍で約1/50となっている。
- ・ 次に最大層間変形角と信頼性指標 β の関係は、1/200で $\beta=0$, 1/50で $\beta=2$ となっている。
- ・ $\beta=2$ の年超過確率は約 5×10^{-4} であり、再現期間は2000年に相当する。
- ・ ここで計算された破壊確率は特定の地点および建物に対するもので、設計基準に求められる一般的な安全性を示しているかどうか結論できない。また、応答の限界値の取り方によっても破壊確率は違ってくる。
- ・ そこで他の基準との比較を示している。この計算で求めた最大層間変形角1/200, 1/100, 1/50の時の破壊確率はvision2000のfrequent, rare, very rareに比較的近い。
- ・ ISO2394の破壊確率はかなり小さいが、地震以外の荷重を想定しているためであろう。

質疑応答

- A. 先ほどの議論の続きになるが、これはあくまで歴史統計地震を多く集めてやっている。逆に再現期間を求めるようなことはしていない。
- Q. 3-33ページにあるように「50年最大値で $\beta=2$ というのは、超過確率が 5×10^{-4} で再現期間が2000年に相当する。」ということから、再現期間を先に決めて逆の計算もできるのではないか。
- A. この β は最初に地震動の確率を決めているから求めることができたもので、逆算ができるのかどうか分からない。
- Q. $\beta=2$ から再現期間2000年が出てきたのだから、2000年から $\beta=2$ を求められないのか。
- A. 応答である最大層間変形角と確率である β の関係は3-34ページに求められていて、1/50のとき $\beta=2$ である。 $\beta=2$ は最初に与えた地震動の平均と分散から計算されるもので、逆算ができるのかどうかよく分からない。
- Q. 難しいかもしれないが、順ができるのであれば逆もできるのではないか。
- Q. 模擬地震動を与えて応答値が得られるのだから、応答値から模擬地震動も分かるように思える。
- Q. 模擬地震動もあるモデルで出来ているのだから、モデルは固定しておいて模擬地震動に含まれる情報を結果から求められないかという話である。
- A. そうすると、最初に最大層間変形角が限界値1/50のときの信頼性を、設計のある考え方から決め

ることが必要と思う。例えば $\beta=2$ とする。次に応答と入力地震動の強さの相関関係式から地震動を逆算出来るように思える。しかし、ここで確率分布をどのように考えたらよいのかよく分からない。

- A. 地震の発生確率については最初の設定論に戻るだけで、それ以上のことは出てこないように思える。
- A. もしも地震の発生確率が逆算出来たとしても、意味のあることなのかどうか疑問である。
- A. もっと問題なのは、土木学会ではレベル2地震に関して、このようなキャリブレーションは出来ないと言っていることだ。要するに統計量が無いということである。
- Q. 統計を仮定すればよいのではないか。それで模擬地震波は発生させればよい。
- A. そのように逆算しても最初の統計量に戻るだけで、それ以上のものは何も出てこない。
- Q. 地震の発生が1000年に1回とか決めてしまえばよい。破壊確率を計算するためには荷重と強度のばらつきが必要なので、荷重である地震発生確率を決めてしまえばよい。
- A. 決めてしまっただけなら、出てきた結果から地震の発生確率を決めてもいいのではないか。また、レベル2のタイプIなら少し統計量があっても出来るのではないか。報告書にはタイプIの場合のプロセスを書いておいて、将来的にはタイプIIもこの様にできるとしておけばよい。
- Q. 現行基準との対応させるのか。
- A. 現在、設計されているものをキャリブレーションして、地震の発生確率がいくらになっているかを求める。
- Q. 発生確率を定めて破壊確率を計算したとしても、それで現行基準と結びつくのか。
- A. 現行基準で設計されたものがあって、強度の統計量は分かっている。ここで破壊確率は与える。あと分からないものは荷重の統計量だが、これを推定したらどうかということを行っている。

(3) 限界状態WG (奈良委員)

資料 I-8-7 鋼構造物の地震時限界状態の明確化について

- ・鋼製橋脚を有する高架橋の破壊シナリオの例(表-1)を示し、それに対応して高架橋のパーツの限界状態を示した(表-2)。
- ・これまで橋脚についてのみ終局限界・機能保持限界が考えられており、その外は終局限界しか定められていなかった。
- ・表-2では橋脚以外についても、要求性能を包含する形で細かい限界状態を設定した。
 - ①使用限界,
 - ②機能保持限界,
 - ③機能回復限界,
 - ④終局限界

質疑応答

- Q. 難しいと思うが、壊れたら影響が他にも及ぶことを考え早く復旧させることを考える必要がある。どの程度壊れてどのくらいで復旧できるかが重要で、力学的な観点よりも、そういう観点から整理した方が性能設計本来の目的に合う。
- A. 機能保持限界とか機能回復限界の話かと思う。その点の整理も考えている。
- A. 例えば、落橋防止装置の破壊に対して、路面を確保できるかできないかという観点を書かないといけない。
- Q. 性能照査型設計の目的、トータルコストを最小にするということを明確にして整理すればうまくいくのではないか。
- A. 被害が生じたときに満遍なく補修するのではなく、どこに集中させるべきかということか。
- Q. その通りで、重要度とか、補修のし易さ、時間など考えるべきだ。
- A. 戦略的なことをまとめるのは難しいが、限界状態としてはどういうことが起こり得るか、また想定しなければならないかを考えていく中で考えてみたい。
- Q. 表1の破壊シナリオの中に支承の破壊が2つあるが、これはどういう意味か。
- A. 表の左のカラムは橋脚の単独破壊のシナリオで、橋脚本体やアンカー、基礎の破壊が考えられる。2番目のカラムは桁が落下する場合で、支承に続いて落橋防止装置が破壊するシナリオである。3番目は同じく桁の落下でアンカー・基礎の破壊に続いて支承が破壊し、最後に落橋防止装置が破壊するシナリオである。このようにシナリオは非常に多く考えられるが、好ましいもの、好ましくないものを分けていきたい。
- Q. 3つカラムの順番には何か意味があるのか。
- A. これは縦に1つの破壊シナリオで、3つのシナリオの例があるということである。

Q. 破壊の定義はどうなっているのか。破壊様式で単独破壊とは何か。

A. 単独破壊は橋脚が破壊しても落橋していない状態で、右の2つは桁が落下した状態を考えている。

Q. シナリオを挙げていって、こういう破壊様式は良くないとかを示していくことになるのではないか。

A. その通りだが、全てを洗い出すのは大変なので、限界状態を定義する上で必要なものに絞るようにしたい。

Q. 表1と表2の関係は、シナリオを想定しながら使用限界はここまで、機能保持限界はここまでというように決めることになるのか。

A. そういうことも出しておく必要があると思う。シナリオを想定することで、パーツそれぞれの限界状態も明らかになってくると思う。

Q. 機能保持限界と使用限界はどう違うのか。

A. 機能保持は補修が必要で、使用限界は補修しないということである。

Q. 言葉の定義の問題で安全と破壊が対比されているが、意味では安全と危険が対になる。

3. その他

第1分科会・次回の予定

日時：7月16日（金）14時～

場所：土木学会

第9回 第1分科会 会議議事録

日時：平成11年7月16日（金） 14:00～18:00

場所：土木学会

出席者：宇佐美委員長，伊藤主査，山尾，奈良，山口，藤田，中村，矢幡，加藤，織田，以上10名

- 資料：I-9-1 第9回議題
I-9-2 第8回 第1分科会 会議議事録
I-9-3 土木学会（耐震検討小委員会）とJSSC（次世代土木鋼構造）報告書について
I-9-4 耐震性能区分目次（案）
I-9-5 「構造物の重要度と想定地震動の考え方」目次案
I-9-6 1999年度建築学会設計競技「限界状態設計法を活用した構造設計－オフィスビル」
I-9-7 鋼構造物の地震時限界状態の明確化について－報告書の概要
I-9-8 機能保持限界WG目次案－機能を重視した耐震設計の高度化
I-9-9 池田尚治：コンクリートの活用による橋梁技術の展開，土木学会論文集，No.616/
VI-42
I-9-10 第1分科会 報告目次案

議事：

1. 前回議事録の確認

2. 土木学会（耐震検討小委員会）とJSSC（次世代土木鋼構造）報告書について

- ・土木学会耐震検討小委員会の報告書は，第1分科会，第2分科会，第3+5分科会，第4分科会，の4分冊とする。
- ・第2分科会以外はJSSC次世代土木鋼構造小委員会と連名となり，第2分科会のみ土木学会用・JSSC用が別々の報告書となる。
- ・連名とすることに対して了解を得ており，印刷費はJSSCに負担してもらえる。

質疑応答

Q. 分冊の内容は全く独立なのか，それともシリーズとしての関係を持たせるのか。

A. 8月に予定している全体会議で議論する。

Q. 第1分科会の報告書もJSSCと連名にしてもらえるのか。

A. 5つの分科会全体が次世代小委員会の成果ということにすれば良いのではないか

A. 報告書のフォーマット案については8月20日の全体会議に出す。

3. 各WGの報告・話題提供

(1) 耐震性能区分WG：資料I-9-4（宇佐美委員長）

- ・2章「性能照査型耐震設計法の枠組」の内，「2.1基本的枠組」を説明する。
- ・「各種基準・指針における耐震系能区分の相互比較」で新技術報告書，道路橋示方書，鉄道構造物設計標準，コンクリート標準示方書を取り上げる。この他にCALTRANS, Vison2000も追加する予定。
- ・「鋼製橋脚の要求性能」は性能照査体系を示す。
- ・「要求耐震性能マトリックス」では，レベル2タイプIIに対して崩壊だが安全というものを追加する予定。

(2) 想定地震動WG：資料I-9-10（伊藤主査）

- ・重要度WGのところは、想定地震動と密接に関係するので、3章「建造物の重要度と想定地震動の考え方」というまとめ方にした。

質疑応答

- Q. 土岐委員会の報告では、レベル2地震動を現時点では統計・確率論的に評価できないということであったが、この委員会の報告書ではどうするのか。
- A. それぞれの委員会の立場と違いを明確にしておけばよいと思う。最終報告書でどうなるか分からないが、設計に信頼性を取り入れる方向としては再現期間を示さないのは無理がある。
- Q. Vision2000や家村先生の要求耐震性能マトリックスでは、縦軸は再現期間で示してあるので、大勢はこの方向ではないか。
- A. 再現期間を決めれば、そのように書き直すことは簡単である。しかし、日本だけが再現期間でない表示方をしていると誤解されやすい。
- Q. 実際の設計では、地震の区別は加速度の大きさだけが問題になっているのではないか。再現期間から地震の大きさを決めることは難しい。
- A. サイエンス的な立場から厳密性を追求するとそうなるが、工学的には概略でも決めたい。そうしなすと信頼性設計が適用できない。
- Q. 一般の人に説明するには、加速度ではなくて再現期間で示した方が分かりやすい。
- A. この委員会のレベルでは、再現期間について正確に議論することはできないので、一般的に使われている値を使っておいてはどうか。
- Q. 建築では、荷重指針というものがあって概略が示されているようである。ISOでも地震荷重の議論がなされていると聞いたが。
- A. やはり建築の方が対象になっている。
- Q. 3.3のリスクアナリシスについては書く材料はあるのか。
- A. CBアナリシスの方法はあるが、公平性の問題も含めて書いておく必要がある。建設省ではプロジェクトに対するCBアナリシスのマニュアルを作ったと聞くので、これを重要度決定に拡張するというのも、考え方としてはある得る。

(3) 性能照査WG:資料I-9-10, (藤田委員)

6. 安全性照査

国内外の動向、ISOに準じるのが望ましいことを述べる。

6.1 安全性照査式

- (1)安全性照査式の比較…鋼構造物設計指針、鋼・コンクリート共通構造設計指針、ISO2394など
- (2)安全性照査式の解説…鋼構造物設計指針にある解説をベース

6.2 安全性確保の方法

- (1)ISO2394 要求事項への対応…目標安全性水準の設定、確率論に基づく部分安全係数の設定
- (2)目標安全性水準の設定…設定例、限界状態時コストに基づく設定例
- (3)部分安全係数の設定…ISO2394、建築学会の方法(資料I-9-6参照)、キャリブレーション

6.3 安全性照査法の展望

- (1)部分安全係数法と β 法の比較…設計者の役割の違い
- (2)将来展望

質疑応答

- Q. β 法のときには、特定の大きさの荷重に対する応答だけではなくて、荷重が変化したときの関係式を求めておかないと確率が計算できないのでは。つまり、荷重のばらつきから応答のばらつきが計算できない。
- A. 荷重と応答が線形関係にないときは、そのように幾つか計算しておく必要がある。
- Q. 荷重分布の平均・変動から、応答の平均・変動を求めなければならないので、レベル2地震に対しては解析を数多くしなければならなくなる。
- A. 荷重と応答は比例関係にあると割り切れば、簡単になる。
- Q. 部分安全係数法では荷重と応答の安全係数をセパレートするが、このとき既に線形関係を仮定して

いると思う。βさえ与えれば部分安全係数は求められるので、部分安全係数法とβ法の手間は同じでないか。

- Q. 建築の設計コンペの方法では、βの数値が与えられているからβ法でやればよいのに、わざわざ部分安全係数を求めさせる意味がよく分からない。
- A. 確率分布は自分たちのデータを使うところで違いを出させることかもしれない。データをたくさん持っているところがより合理的な設計が可能になる。
- Q. そのような方法が実際に機能するだろうか。設計者が持っているデータがそれほど違うかどうか。調査をたくさんやれば、合理的にできるということか。
- A. 道路橋の基礎をやっている人の話では、N値のみの場合と詳細な土質データがある場合では安全係数に差をつけるという考えもあった。
- Q. 大規模な工事では詳細な調査をし、小規模な工事では調査にお金をかけず安全係数でカバーしようということですか。そうすると、建築の設計コンペはずいぶん違ってきそうである。
- Q. 確率分布の形まで定めて破壊確率を直接求める方法はレベル3で、平均・変動だけで済むのがβ法である。データがたくさんあれば、レベル3の方法も適用できるのでは。
- A. その通りである。確率計算のプログラムも市販されており、計算は困難ではなくなっている。
- Q. 建築の設計コンペは何を目的としているのか。
- A. 限界状態設計法の普及である。実際に限界状態設計法は余り使われていないようである。
- Q. 性能照査型設計法の理解のためということはないのか。
- A. 「性能のグレードを明示すること」という条件が書かれているので、そういう意味も含まれているかもしれない。
- Q. 性能照査型になったときに、抵抗Rの特性値はどうやってきめるのかの基準が必要である。例えば、コンクリートのシリンダーなら何本試験して下界をとるといようなルールがある。新しい構造を開発したときに、抵抗Rをどうやって決めるか基準に書いておく必要がある。
- A. それは確率分布の検定という話ではないだろうか。
- Q. 実験の場合はイメージできるが、解析からRを求めようとする場合にはどうしたらよいか。
- A. 材料の統計なら比較的データがそろっているのだから、そのばらつきを与えて構造の応答のばらつきを求めることになるのでは。
- Q. 材料の規格値は最低保障値であるから、それを用いて解析したものが構造の強度の最低値ということの良いのではないか。
- A. 限界状態設計法では、わずかだが規格値を下回る確率を想定して安全係数を定める話になっている。
- Q. 先ほどの新しい構造形式というのは、発注者がOKすればよいのでは。
- A. 性能照査型設計法のメリットのひとつは、誰でも新技術が導入しやすくなるということであるから、客観的に抵抗Rを決める基準を定めておく必要がある。非超過確率5%ととしても、何本実験をして確率を求めるのかが明確になっていない。
- Q. 発注者が新技術を認定するために要求することですか。
- A. そういうことである。第三者的認証機関が認証するとしても、そのようなガイドラインが必要になる。
- Q. 材料や部材レベルであれば数多く試験することも可能であるが、構造レベルにおいてもそういうことが可能ですか。
- A. 現状はばらつきのところまで議論されていないが、性能照査型設計法を導入して、新構造を限界状態設計法のフォーマットで照査出来るようにするためには、抵抗Rを定める基準が必要になる。
- Q. 責任を発注者が持つ以上、そのような基準ができたとしても新技術導入に対する態度は変わらないと思う。第三者が責任をカバーするような制度が必要と思う。
- A. その通りであるが、考え方は示しておきたい。

(4) 限界状態WG: 資料 I - 9 - 7(奈良委員)

4.1 破壊シナリオ

- ・ 基礎、フーチング、定着部、橋脚、支承、落橋防止装置から、上部工につながる破壊シナリオを想定。
- ・ 基礎、フーチング、定着部、橋脚については相互に関係する破壊シナリオは想定しない。

4.2 考慮すべき限界状態

- ・ 破壊状態に対応した限界状態を次の3つに区分して明確にする。単独構造(基礎、フーチング、定着部)、橋脚、高架橋システム。

- ・ 単独構造に対しては、使用、終局、疲労の限界状態を考える。
 - ・ 橋脚は、上に加えて機能修復限界、機能回復限界を考える。
 - ・ 高架橋システムは、上に加えて強度限界、逐次崩壊限界、全体崩壊を考える。
- 4.3 今後の課題
- ・ これまでの研究成果と対応させて、今後の課題を明確にする。

質疑応答

- Q. 機能保持限界と機能回復限界の違いは何か。どちらが厳しいのか。
- A. 機能保持は言葉の通りで、機能回復は損傷を補修できるかどうかの限界である。機能保持の方が状態としては厳しい。
- Q. 道示では残留変位 $h/100$ が機能回復限界に当たり、機能保持限界は残留変位がさらに小さい状態と考えてよいか。
- A. その通りである。
- Q. 残留変位 $h/100$ 以下は全て機能保持限界であって、補修に要する時間が機能回復限界を分けるのではないか。
- A. そうではなくて、最低限の機能を保持するのは中損傷以下で、何とか機能を失っているが補修可能なものは大損傷である。
- Q. 用語の整合性であるが、基本性能として復旧性という言葉を使っているので「復旧限界」としてほしい。英語では repairable が対応するので、または「修復」になる。
- A. 機能回復というのは、簡単に元に戻せるかどうかを考えている。
- Q. 復旧にもいくつかグレードがあるが、前はグレードを機能保持も関係させて言っていた。復旧だけで分けた方が分かりやすいか。
- Q. 復旧は個々のものではなくて、システムの機能を元に戻すという感覚が強くなる。
- A. 修復という言葉の方がよいか。高架橋システムに対して復旧を使っても良い。
- Q. 回復というと recover になるのか。
- A. 回復だと元通りにするイメージになるが、修復だと元通りでなくても良い感じがある。
- Q. 資料 I-9-11 の目次案に含まれている「限界状態の照査のためのモデル化と解析手法および設計法について」はどうしたらよいか。
- A. すべてを網羅するのは大変だが、今明らかになっていることを整理していただければよい。シナリオだけでは、実際への適用ができない。
- Q. ここで使用限界とは地震時状態では何を意味しているのか。常時荷重に対する使用限界と地震荷重に対する機能保持限界は同じ意味に思われるが。
- A. 使用限界はそもそも機能を考えているので、機能保持限界中の無損傷のグレードと考えることもできる。
- A. 地震の最中の振動に対して機能を考えるならば使用限界という言葉が使われるかもしれない。
- Q. 資料 I-9-4 の表 2 では基本性能・「構造安全性」に対して「終局限界」、「復旧性あるいは修復性」に対して「損傷限界」という用語を使っている。そうすると、資料 I-9-11 の表で機能保持限界、機能回復限界を使用限界と同じグループに分類していただければ整合がとれるのでは。
- A. そうすると、無損傷に対応する限界状態はどこになるのか。
- Q. 無損傷も損傷限界の 1 つのグレードとして考えている。機能保持限界と機能回復限界を 1 つにまとめることはできないのか。修復性に対する限界を例えば、損傷限界と呼ぶことはできないか。
- A. 終局限界さえ定義の仕方はいろいろあるので、その損傷限界を全て含めて終局限界ということができるのでは。
- Q. 照査の元の意味にかえて考えると、安全性の照査は終局限界に対して行い、修復性の照査は損傷限界に対して行うことである。結果的に同じであっても、このように分けておいた方が分かり易い
- A. 損傷限界で十分、分かり易いのではないか。
- A. 機能を重視する立場なら、機能保持限界とかを使った方がよいと思う。
- Q. この破壊シナリオで基礎から破壊するように見えるが、実際、今の設計ではどうなるのか。
- A. シーケンスを表しているのではなく、1 つの可能性のあるルートを示しているだけである。実際には複雑なシーケンスがあるが、網羅することが困難なので考えていない。

(5) 機能保持限界WG: 資料 I-9-8(織田委員)

5.1 従来の機能保持限界の考え方

- ・ 道示，新技術報告書など
- 5.2 阪神大震災などにおける被害と機能損傷の分析
 - ・ 構造被害と機能的な損傷の関係を調査
- 5.3 機能保持の目標性能と設計クライテリア
 - ・ 地震直後の機能
 - ・ 橋梁システムの機能的構成：上部工には路面の連続性が要求され，全体には荷重支持力が要求される。
- 5.4 機能修復の目標性能と設計クライテリア
 - ・ 機能の状態ではなく，修復期間に着目
- 5.5 機能を重視した耐震設計法
 - ・ 機能保持と機能修復のグレードを構造損傷度に対応させる。
 - ・ 機能修復のグレードに対する要求には被害範囲の大小を考慮する。

質疑応答

- Q. 機能保持と機能修復を分ける意味は明快であるが，実用的には複雑で混乱が生じはしないか．新技術報告書では両者を併せて損傷度を定義している．このマトリックスでも機能保持と機能修復のグレードは1対1に対応しており，結局は同じである．
- A. 現実には，ある機能保持レベルに対応する損傷でも，その状態によっては修復期間にはかなり幅がでてくる．しかし，幅を持たせると，今言われたように，設計が困難なので敢えて1対1にした．
- Q. 細かく分けても，実際に設計される結果は余り違わないと思われる．検討の途中を説明するのは重要であるが，結果はもう少し粗くてよい．
- A. 従来 of $A_s \sim D$ の損傷度分類は最終的には建替えるかどうかの判定に使われているだけで，実質的な意味はなかったかもしれない．
- Q. 個人的な考えではあるが，発生頻度が極めて少ない地震に対しては無損傷か破壊の2つくらいで十分と思う．
- A. 従来は，その2段階であったが，Vision2000など最近の動向としては3段階くらいになっている．それくらいが適当だろう．新技術報告書も細かすぎるという批判があった．
- Q. 機能保持とか修復の判定精度が余り良くないのに，それがクリティカルになるような設計基準であってはならない．地震波さえ予測精度が十分とは言えないので，それに強く影響される残留変位制限には疑問がある．
- A. 鉄道橋は，最大応答変位を使って復旧性を判定している．世界的にも残留変位を照査している例は見られない．
- Q. 残留変位だけでは，実際の損傷に結びつかないのではないか．
- A. 残留変位とは別に安全性を終局限界に対して照査しており，それが損傷に結びついている．
- A. クラックが入るような大損傷を受けたが真直ぐに立っていた例がある．ただし，修復性があるので実際に修復したと聞いている．
- Q. もう少し簡単にするという意見に対してどうするか．
- A. 先ほど言われたように考え方のプロセスは示して，最終的にはもっと簡単にしたらよい．
- Q. 機能保持レベルの分類は，診断として使えると思う．診断の後，どうするかが簡単であればよいと思う．
- Q. 修復レベルを想定被害の範囲で変えるという考え方は，実際に適用できるのか．
- A. 資料I-9-10の考え方を取り入れた．つまり，プレート境界型地震は影響範囲が広いので安全率を厳しくし，直下型地震は影響範囲が狭いので前者より安全率を緩くしている．
- Q. 動示でタイプIとタイプIIの安全率の違いは，地震波の繰返し数によると説明されている．
- A. 動示ではその通りであるが，この文献では地震動は正確に予測できないので，耐震設計を戦略的に考えるのがよいと言っている．
- Q. 本音は，タイプIIに対して安全率が厳しすぎると設計が困難というところにあるのではないか．
- A. よくわからないが，適切な配筋で許容塑性率6を確保できるRC構造物は可能で，それをもとに各タイプの地震に対して許容塑性率を定めたと書いてある．
- Q. 構造物が単独か，ネットワークで多数かという問題である．あり得ることであるが，これで設計できるかどうか．
- A. 考え方だけ示せばよい．
- Q. 高架橋システムの中で，揺れに対する使用性は入ってくるのか．
- A. 地震のような異常時に使用性まで要求されるかどうか．鉄道で検討しようとしたが実現不可能とい

うことで入っていない話を聞いたことがある。現実的には地震のごく始めにブレーキをかけることしかないと思う。

3. その他

- ・ 目次案を詳細にし執筆分担まで決め、8月13日までに幹事へ送り、8月20日の全体会議に提出する。
- ・ 第1ドラフトの目標は1月8日を目標とする。
- ・ 第1分科会・次回の予定
日時：10月8日（金）14時～
場所：土木学会