

耐震設計審査指針検討に関する打合せ

日 時:平成15年12月10日(水)
15:30~
場 所:共用第4特別会議室
事務局長室

1. 第7回耐震指針検討分科会の議題について

- ・地震・地震動ワーキンググループの検討状況
- ・これまでの議論を踏まえた上での全体の論点
- ・分科会及び地震・地震動ワーキンググループの進め方

2. 「第四紀層地盤立地」、「免震構造・制振構造」に関する検討の進め方について

- ① 第7回以降、分科会にて検討を行い、結論をとりまとめる。
- ② 分科会の検討と並行して、地震・地震動ワーキンググループにおいては、岩盤立地、剛構造を前提として引き続き残された項目の検討を行う。
- ③ 「第四紀層地盤立地」及び「免震構造・制振構造」の採用する方針が決まれば、地震・地震動ワーキンググループにおいて、「第四紀層地盤立地」及び「免震構造・制振構造」を前提とした基準地震動について検討する。

3. その他

耐震設計審査指針関係主要論点ととりまとめの方向性（一案）

主要論点	とりまとめの方向性
<p>1. 指針の範囲と適用</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 後段規制との関係、民間規格との関係も念頭に、 <ul style="list-style-type: none"> ・ 指針にはどの範囲までを規定しておくか？ ・ 指針の適用における弾力化をどのように図るのか？（段階的適用、選択肢方式等） <p>● 現行指針の構成</p> <p>① 現行指針は、「本文」と「解説」で構成されており、概ね、「本文」には指針の基本方針等と規定する項目ごとの要求事項及び要求水準が、また、「解説」にはその意味するところ、考え方、</p>	<p>(1) 指針の位置付けと明確にすべき内容</p> <p>① 発電用原子炉施設の安全確保に係る規制体制の中で、原子炉等規制法に基づく設置許可段階においては、施設の安全を確保するために最も重要となる基本設計や設計方針を確認しており、施設が有すべき具体的な性能や構造強度等の詳細な仕様については、後段規制となる工事計画の認可段階においてこれを確認する仕組みになっている。</p> <p>② また、指針は、安全確保の観点から設計の妥当性を判断するために定められた「発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針」において示されている「指針2. 自然現象に対する設計上の考慮」について具体的な審査方針を取りまとめたものと位置付けられる。</p> <p>③ このような規制体系の中で、発電用原子炉施設の設置許可段階において、何を審査すべきか明確にしつつ、指針を取りまとめることが重要である。</p> <p>④ 以上の基本的考えに基づき、設置許可段階における安全審査を念頭において、指針に規定すべきポイントは以下と考える。</p> <p>(イ) 法律が目的とする、「災害防止上支障がない」ことを具現化するための原子炉施設の耐震安全性についての<u>基本的な考え方及び目標</u></p> <p>(ロ) (イ)を達成させるための、耐震設計上考慮すべき設備の重要度分類の<u>基本的考え方</u></p> <p>(ハ) (イ)を達成させるための、耐震設計上考慮すべき地震動の<u>設定方針</u></p> <p>(ニ) (イ)を達成させるための、設備の重要度に応じた耐震設計の<u>基本方針</u></p> <p>コメント：基本的考え方や方針と共に、「災害防止上支障がない」を確認するための必要性に応じて基本設計に対する要件も指針に規定すべきポイントではないか</p> <p>(2) 改定指針の構成</p> <p>① 改定後の指針の構成は、「安全審査指針の体系化について」（平</p>

主要論点	とりまとめの方向性
<p>根拠、具体的算定・設定方針等が記載されている。</p> <p>②ただし、「本文」でも耐震重要度分類等について具体的な仕様が記載されている箇所や、「解説」でも地震力、基準地震動の策定等についての要求事項が記載されている箇所がある。</p>	<p>成 14 年 9 月)に記載されている、内容の標準化例等を参考にしつつ、性能規定化の方針を考慮し、以下の基本方針及び項目の構成とすることが一例として考えられる。</p> <p>【基本方針】</p> <p>(イ)「本文」及び「解説」による構成とし、指針の不可分の一体とする。</p> <p>(ロ)基本的目標、<u>性能要求、性能水準</u>は原則的に「本文」に記載し、それ自体で一貫性をもったものとする。</p> <p>コメント：安全機能の重要度分類は性能の規定ではなく、安全機能の分類としている。設計審査指針も性能要求というより機能要求ではないか。一般論で言って、当委員会の指針類について、性能要求の前に機能要求があるのではないか。(性能要求はハードの性能規定の意味合いが強い。機能要求の言葉としてはどうか)</p> <p>(ハ)「解説」は、「本文」の意味することの正当な理解・適用の補助のために設け、「本文」記述内容の背景、目的、考え方、考慮すべき事項、必要性などを記載する。</p> <p>(ニ)なお、説明性を高めるために具体的な仕様の例示等が必要な場合は「解説」に記載する。</p> <p>【項目構成】</p> <p>(イ)「はしがき」→目的、位置付け</p> <p>(ロ)「1. 適用範囲」</p> <p>(ハ)「2. 用語の定義」</p> <p>(ニ)「3. 基本方針」</p> <p>(ホ)「4. 耐震設計上の重要度分類」</p> <p>(ヘ)「5. 耐震設計評価法」</p> <p>(ト)「6. 基準地震動の設定」</p> <p>(チ)「7. 荷重の組合せと許容限界」</p> <p>(3)指針改定の決定と同時に「指針」とは別途の形で、原子力安全委員会が「耐震設計審査指針に関する見解」を次のような論点を含む改定指針の位置付け、運用方針についての考え方等についてとりまとめ、決定の上、公表する。</p>

主要論点	とりまとめの方向性
	<p>① 今回の指針の改定は高度化を図るためのものであること。 <u>コメント：現状では何が高度化であるか見えにくい</u></p> <p>② 現行指針の有効性について検証した結果（分科会で予め実施）を明確に示す。</p> <p>③ 旧指針下で設計・審査された既存プラントについて、制度上、遡及して改定指針に基づく安全審査のやり直しを求めるものではないが、旧指針に基づいて設置許可されたプラントの安全性について、既存プラントのうちから代表例を用いた試解析等により検証（分科会で予め実施）の上明確化する。その一方で事業者が新しい知見に照らした既設の全プラントの安全性をより具体的に把握しておくことが望ましいとの観点から、指針改定後一定期間内において、全既設プラントのチェックを行い、必要に応じ安全性向上のための自主プログラムを事業者が策定し、今後適宜これをプラントに反映していくことが望ましいとの考えを明らかにする。（必要に応じ、規制庁から事業者に対する文書の発出も検討。）</p> <p>④ 今後の中長期的な研究課題や調査検討課題を整理して明確化し、次回の指針改定に備える。</p>
<p>2. 指針への確率論的な手法の導入</p> <p>● 確率論的な手法を導入する対象をどうするか？</p> <p>・ 地震動の設定に活用する場合、</p> <p>(イ) 震源を特定できない地震について、どのように導入するか？</p> <p>(ロ) 震源を特定できる地震については、どこまで適用可能か？ （できれば判定のめやすのようなものがあれば望ましい）</p>	<p>(1) 地震動の設定に当たっての確率論的手法の導入については、次の項目を「本文」又は「解説」に記述。</p> <p>① 震源を特定できない地震については、地震動の評価に際し考慮すべき地震動のレベルを確定的に設定した上で、断層モデルを用いた確率論的検証を行うことを要求。</p> <p>② 震源を特定できる地震については、①との整合性等に配慮しつつ、申請段階までに考慮すべき地震動のレベルに対し確率的めやすを可能な限り検討しておき、将来、個別地点の地震ハザード評価が相当の信頼性をもって可能になった段階において適宜取り込むべきことを要求。</p> <p><u>コメント：地震ハザードで最も不確かさが大きいのは距離減衰の評価であるときいている。この確率的扱いも上記に含まれていると考えてよいか</u></p>

主要論点	とりまとめの方向性
	<p>(2) プラント設計に確率論的手法を用いることについては、現時点での課題を明確化し、「指針」には明記せず、将来の導入の方向を「見解」において明らかにしておく。</p>
<p>3. 確率論的耐震安全評価（地震 PSA）の適用の可能性</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 確率論的耐震安全性評価（地震 PSA）を個別プラントの審査に適用するかあるいは、規制の妥当性を確認するために活用するか？ <ul style="list-style-type: none"> ・ 個別プラントに適用する場合、規制上の要求とするのか、自主的な範囲とするのか？ ・ 上記の検討においては、 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 他の事象に対する PSA が規制上の要求事項とはなっていないこと ➢ 及び多段階規制における諸手続・処分と矛盾が生じないことを考慮する必要がある。 	<p>(1) プラントの確率論的耐震安全評価（地震 PSA）については、当面、</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 新規プラントについては、改定指針の目指す安全レベルの妥当性の検証に用いる。 ② 「旧指針」の下で建設されたプラントの安全レベルについて代表する既存プラントを対象としたプラント試解析等により検証し、その妥当性を確認することに用いる。 ③ 指針改定後における既設個別全プラントのバックチェックに活用することとし、個別プラントに対する規制には、適用しない。 <p>(注) ①及び②については分科会の場で今後提示する。 (注) ③のために、共通のルールを学・協会規格として整備することが望ましい。</p>
<p>4. 基準地震動の設定</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 基準地震動を上記 2. の確率論的な手法の導入も考慮しつつ、どのように設定するか？ ● 基準地震動を安全確認のための地震動に 1 本化するか、従来通り 2 本設定するか？ <ul style="list-style-type: none"> ・ 2 本設定する場合、どのような根拠で 2 本の地震動を設定できるのかについて合理的説明が必要。 	<p>(1) 基準地震動の策定方法は、今後の地震・地震動 WG の議論を踏まえて、分科会で最終的に設定する。</p> <p>(2) 「指針」がカバーすべき範囲、関係法令との関連、及びそのあり方を総合的に勘案して設定するものとする。</p> <p>(3) 基準地震動は、安全確認のための地震動を 1 本化し、対象となる施設（5. 耐震重要度分類で規定）の安全上の重要な機能が保たれるように設計することを求めることで十分ではないか。</p>

主要論点	とりまとめの方向性
<p>5. 耐震重要度分類</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 基準地震動の設定との関係において、指針で扱う重要度分類の区分ごとの範囲をどのように設定するか？（2区分、3区分、従来通り？） ● 安全機能からみた重要度分類との整合性の要否についての検討及び地震固有の観点から見た重要性の整理 	<p>(1) 「指針」がカバーすべき範囲、関係法令との関連、及びそのあり方等を総合的に懸案して、耐震の重要度を区分するものとする。 <u>コメント：国内外の耐震重要度分類や安全機能の重要度分類も含めた</u></p> <p><u>総合的検討が必要</u></p> <p>(2) 耐震の重要度は、基準地震動による評価を求める重要度の高い設備とその他の設備に高低に着目して2区分か3区分に分け、安全上重要度の高い設備は、安全機能に着目した重要度分類指針のクラスとの整合性の要否を考慮しつつ、共通起因事象となる地震の特性を反映したものとする。</p> <p>(3) 基準地震動による評価を要しない設備という概念を導入した場合は、これらの設備については安全上の重要度等の観点から適切に分類し、合理的な設計を行うべきとする基本方針を明らかにしつつ、具体的には、工事計画認可以降の規制に委ねることも可能。その際には学・協会規格の積極的な活用を図る。 <u>コメント：(3)項は削除(書く必要がある場合は、別途纏める見解に入れりうことを含めて件等すればよいのではないか)</u></p>
<p>6. 第四紀層地盤立地・免震構造等の導入</p> <ul style="list-style-type: none"> ● これまでの基本方針で「建物・構築物は重要な建物・構築物は岩盤に支持させなければならない」とある規定を緩和し、第四紀層地盤における立地をも可能とするか？（条件付きか、無条件か？） ● これまでの基本方針で「建物・構築物は原則として剛構造とする」とある規定を緩和し、免震構造等を適用可とするか？（条件付きか、無条件か？、制振構造は？） 	<p>(1) 岩盤支持を原則としつつも、第四紀層地盤立地について、その意義、技術的可能性、留意点等を検討した上で、条件（「解説」で明示）付きで第四紀層地盤立地をも選択可能とする。</p> <p>(2) 免震構造の採用について、その意義、技術的可能性、留意点等を検討した上で、条件（「解説」で明示）付きで、免震構造をも採用可能とする。（制振構造についても同様のプロセスで検討し、その採用の可否を判断する。）</p>

て図 4-1 に示す。

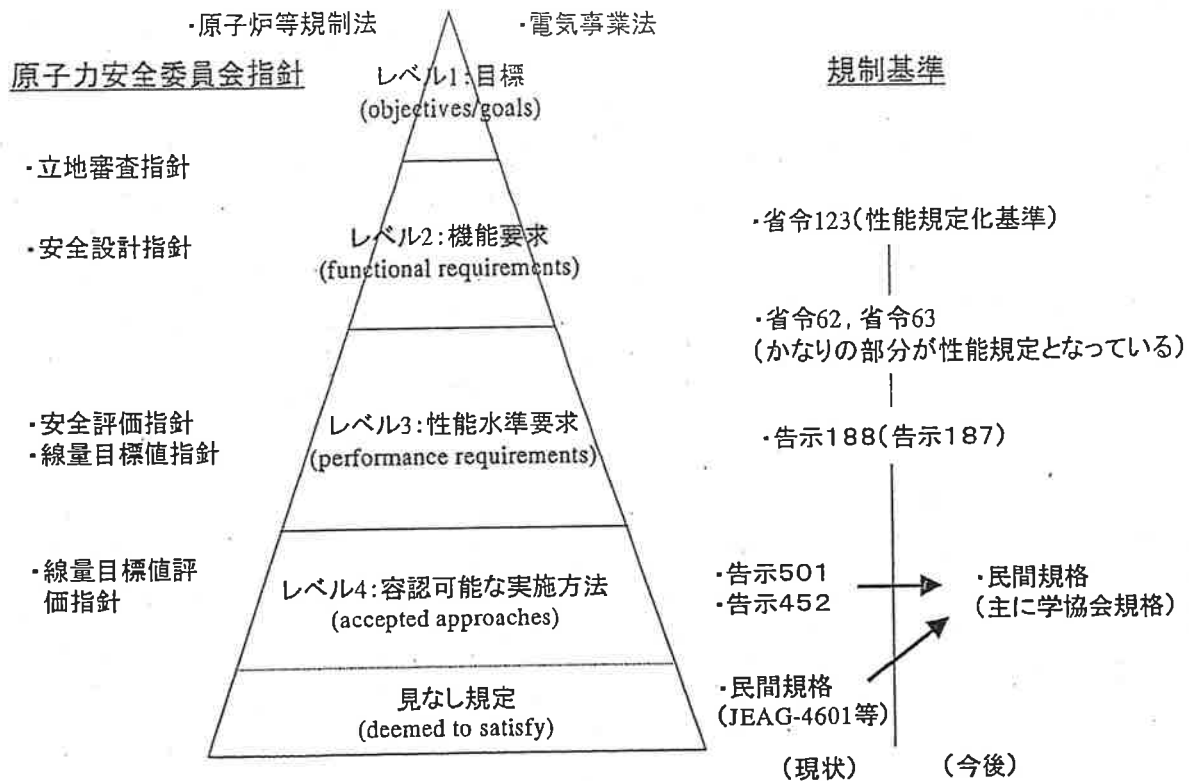


図 4-1 規制法令・指針体系の階層化

4.3 規制基準の体系化を進めるにあたっての基本的考え方

原子力安全委員会の各種指針は、原子力発電所等の原子力施設の設置（変更）許可に関する安全審査において、その客観性や合理性を高めることを目的に定められたものであり、施設の基本設計について安全審査で確認すべき要求を規定している。これに対し、規制基準、特に、電気事業法上の技術基準は、電気工作物（原子力分野においては原子力発電所）の設計・製造の基準及び電気工作物が維持運用されるべき水準の基準として制定されたものであり、その一部は、施設の詳細設計に対する要件を定めたものという位置づけとなっている。

こうした位置づけを踏まえ、指針との対応状況を把握するとともに、IAEA の安全基準や欧米諸国における基準や規格の状況について評価を行い、今後、規制基準の体系化を進めるにあたっての基本的考え方を整理した。

(1) 指針における技術的事項との整合性

「第四紀層地盤立地」及び「免震構造・制振構造」の 改定耐震設計審査指針への導入の可否に関する検討について

原子力安全委員会事務局

1. これまでの検討状況と前提

(1) 現行(1981年策定)の「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」では、「3.基本方針」において、「発電用原子炉施設は想定されるいかなる地震力に対してもこれが大きな事故の誘因とならないよう十分な耐震性を有していなければならない。また、建物・構築物は原則として剛構造にするとともに、重要な建物・構築物は岩盤に支持させなければならない。」と規定されており、これに基づき既存の原子力発電所の重要な施設は、すべて「強固な岩盤上に直接支持」×「剛構造」という条件に基づき施設の設計、建設が行われている。

(2) 一方、諸外国では、これにとらわれず岩盤ではない地盤サイトへの立地、あるいは免震(制振)構造の概念を導入した原子力施設の例がみられるようになった。

※ ワーキンググループにおいて紹介した事例

○第四紀層地盤立地：Creys-Malville(フランス)、Brokdorf(ドイツ)等

○免震構造：Koeberg(南アフリカ)、Cruas(フランス)

(3) また、我が国でも、現行指針策定時以降における知見の蓄積、技術の進歩を踏まえて、主として民間において「岩盤支持」あるいは「剛構造」の条件から外れた場合の施設の耐震性・健全性確保に備えた各種の技術指針類の検討が自主的に進められてきている。

※ ワーキンググループにおいて紹介した事例

○第四紀層地盤立地に関する知見

「高耐震構造立地技術確証試験 第四紀層地盤立地方式調査 総括編」平成9年3月
財団法人 原子力発電技術機構(通商産業省委託事業)

「原子力発電所の立地多様化技術 第2編 第四紀地盤立地技術」平成8年3月
社団法人 土木学会

「原子力施設基礎構造技術に関する調査報告書(使用済燃料乾式貯蔵キャスク建屋編)」平成12年4月

社団法人 日本電気協会 原子力発電耐震設計専門部会

○免震構造に関する知見

「高速増殖炉免震設計技術指針(案)」

財団法人 電力中央研究所(通商産業省委託事業)

「発電用原子炉施設に関する免震設計指針」

社団法人 日本電気協会 原子力発電耐震設計特別調査委員会

「原子力発電所免震構造設計技術指針」

社団法人 日本電気協会 耐震設計分科会

2. 「第四紀層地盤立地」の導入の可否の検討

- (1) 現行「岩盤支持」が規定された前提、背景の確認
- (2) 現行指針策定時以降、今日までの知見蓄積及び技術進歩の確認（今回の改定時が導入の適切なタイミングであるか？）
- (3) 「岩盤」以外への立地需要の有無（今回、導入するメリットはあるか？）
- (4) 「第四紀層地盤立地」の導入を可とした場合（可とするための）、「岩盤支持」と同等レベルの耐震（安全）性確保に必要な条件、制限等の整理（検討の材料は十分得られているか？）
- (5) 「第四紀層地盤立地」の導入を可とした場合（可とするための）、「岩盤支持」を（望ましい）原則として規定し「第四紀層地盤立地」を例外的に許容するのか、あるいは、全く平等・並列な選択肢としての規定とするか。

3. 「免震構造・制振構造」の導入の可否の検討

- (1) 現行「原則として剛構造」が規定された前提、背景の確認
- (2) 現行指針策定時以降、今日までの知見蓄積及び技術進歩の確認（今回の改定時が導入の適切なタイミングであるか？）
- (3) 「剛構造」以外の施設設計需要の有無（今回、導入するメリットはあるか？）
- (4) 「免震構造・制振構造」の導入を可とした場合（可とするための）、「剛構造」と同等レベルの耐震（安全）性確保に必要な条件、制限等の整理（検討の材料は十分得られているか？）
- (5) 「免震構造・制振構造」の導入を可とした場合（可とするための）、引き続き「原則として剛構造」の規定を残しつつ例外的に「免震構造・制振構造」を許容するのか、あるいは、全く平等・並列な選択肢としての規定とするか。

4. 今後の検討のプロセス

- (1) これまでの「分科会での検討の方向性に関する意見、検討にあたって調査すべき事項に関する意見」、「施設WGにおける意見」、「地震・地震動WGにおける意見」等の整理
- (2) これまで施設WG及び地震・地震動WGにおいて紹介された資料・情報の整理及び追加調査の実施
- (3) 電気事業者等のヒアリングによる需要の把握
- (4) 指針改定作業全体を見据えた適切な時期における方針決定

「第四紀層地盤立地」に関する検討状況について

分科会における意見等

<検討の方向性に関する意見>

- ・ 第四紀層地盤に設置する場合の地盤のせん断強度やせん断波の伝播速度などの下限値を設けるとか、液状化の発生は許さないなどの制限について検討が必要。
- ・ 「解放基盤は岩盤」「解説で第三紀層以下・・・」という現行の指針は、地質時代ではなく、「設計で構造物支持に支障のない地盤」という考え方で見直すべき。
- ・ 局地的地盤条件が設計用地震動特性に及ぼす影響の考慮は重要。
- ・ 第四紀層地盤への商業用原子力発電所の立地は、建物と地盤の相互作用や地盤の不均質性・地耐力に問題がある。

<検討にあたって調査すべき事項に関する意見>

○第四紀層地盤の評価法

- ・ 第四紀層地盤立地を採用する場合には、地震応答特性、地盤の破壊又は大変形、液状化等の観点から何らかの制限条件設定の検討が必要。

○基礎構造の評価法

- ・ 第四紀層地盤立地の基礎構造が杭支持方式などの場合には、関連する特別な検討が必要。

施設WGにおける意見等

関連する最近の地質評価法を踏まえ、第四紀層地盤に対する考え方とその適用性について整理を行った。

「新立地様式及び第四紀層地盤立地については、是非とも取り入れるべきである。」との積極的意見があった。

第四紀層地盤立地については、検討の前提について、「地盤の液状化、非線形性等の問題を議論する場合は、時代区分ではなく物性区分で議論すべきである。また、「第四紀層」という用語を使う場合は、補足的に物性による定義付けをした方がよい。」等の意見があった。

また、導入に際しては「液状化判定に関する手法やデータなどの信頼性が検討の際、重要となる。」との意見もあった。

さらに、「新立地様式に係る今後10年～20年の原子力発電の方向性に関して、政府の立場を明確にすべきである。」との意見もあった。

地震・地震動WGにおける意見等

関連する最近の地質評価法を踏まえ、第四紀層地盤に対する考え方とその適用性について整理を行った。

その際、「新しい指針に地下立地や人工島立地を入れるのであれば、基本WGだけではなく、地震・地震動WGでも審議すべきである。」との意見等があった。

今後の検討に向けて

- ・ 第四紀層地盤立地については、種々の民間技術指針等が整備され、各種の制限値についても設定されていることが確認できた。第四紀層地盤立地を許容する場合は、これらの制限条件をどのように指針に盛り込むべきかの検討を行った上での判断が必要であると考えられる。
- ・ 「第四紀層」という用語を用いる場合、従来の「岩盤支持」の規定との関係整理、採用対象となりうる施設・設備の範囲、物性等に関する定義付けをどのように行うかなどについて検討が必要であると考えられる。

「免震構造・制振構造」に関する検討状況について

分科会における意見等

<検討の方向性に関する意見>

- ・ 第四紀層立地・免震等の新立地方式・新技術を取り入れるべき時期にきている。
- ・ 基本的耐震設計方針として剛構造の必要性がないとする場合にあっては、過大な変形や応答に重大な影響が生じる可能性もあるので、何らかの制限条件設定の検討が必要。
- ・ 免震・制振構造が炉心冷却システムに与える影響に関する実証試験データの積み重ねがなされ、地震時の安全性が実証されない限り、これらを商業発電用原子力施設に採用するのはやめるべき。

<検討にあたって調査すべき事項に関する意見>

- ・ 柔な構造とする場合には固有周期、変形量などの制限についての検討が必要。

施設WGにおける意見等

関連する知見や技術基準等を踏まえ、免震構造・制振構造の適用性について整理を行った。

免震構造・制振構造（パッシブ制振に限る）については、「技術の進歩として是非とも取り入れるべきである。」「制振に関しては、免震ほど技術の蓄積はないが、今後の技術の進捗により取り込めるような形にしたい。」の積極的な意見があった。

地震・地震動WGにおける意見等

関連する知見や技術基準等を踏まえ、免震構造・制振構造の適用性について整理を行った。

さらに、床免震や機器免震を採用している事例等について知見の整理を行った。

その際、免震・制振を指針に取り入れる場合にあっては、「その基本的考え方が正確にわかるものにすべき。」との意見等があった。

今後の検討に向けて

- ・ 免震構造については、現行の耐震設計審査指針を前提とした設計体系が民間技術指針として整備され、変形量等の制限条件についても設定されていることが確認できた。

従来の原則として剛構造とする旨の規定を緩和し、免震構造・制振構造を許容する場合は、採用対象となりうる施設・設備の範囲、制限条件をどのように指針に盛り込むべきかの検討を行った上での判断が必要であると考えられる。

地震・地震動ワーキンググループにおける検討状況等の整理

区分	ワーキンググループにおける検討項目 (「震震W第1-2号」参照)	検討状況等の概要	関連資料	引続きWGで検討する項目	備考
地震	19 設計用地震の区分と想定すべき地震	<p>震源を想定するにあたっては、「現在の地震学の知見で言うと、歴史地震と活断層だけでは不十分で、プラスアルファを考える必要がある。」との意見があった。また、「活断層と歴史地震の資料は、独立に違った精度で集めて、最後に勘案するもの。」</p> <p>地震カタログを適用するにあたっては、「歴史地震からそのサイトに影響を及ぼす地震を選び出す際には、震源を点と見なさず広がりがある程度考慮して評価する必要がある。」</p> <p>また、「江戸時代より前では、地震被害記録の資料がないからといって、そこに地震がなかったとは限らない。」との意見があった。一方で、「歴史地震の調査は、将来の地震を予測する上ではあまり意味がない。」との意見があった。</p> <p>さらに、地震地体構造については、「地震地体構造という概念が、現在の地震学に受け入れられるか、また安全審査に必要かどうか疑問である。」との意見があった。</p> <p>活断層の評価にあたっては、「基準地震動 S1、S2 の策定における現行指針の、1万年前以降活動、5万年前以降活動の条件に入らないものでも現実に大きな地震は起きている。」「活断層を認識できる現状のレベルはどこまでかということと、それをこの現状レベルでどこまで基準に盛り込めるかということについて検討する必要がある。」「活断層の長さは過去に発生した地震によって累積された値である。」との意見があった。</p> <p>また、「活断層がわかったからといって震源が特定できるとは、地震学的には言えない。Mj6.8以上ならば震源は特定できると言い切るには、まだ問題が残っている。」</p> <p>一方、松田式に対して、「地表に現れた断層の長さから地震を保守的に評価することは可能である。」との意見もあった。</p> <p>さらに、「活断層の評価期間における工学的判断に関する従来の考え方について、イメージを作っていく必要がある。」との意見があった。</p> <p>これに関しては「『震震W第10-2号』は、結論として「Mj6.8以上ならば震源は特定できる」としているものではない」との説明があった。</p> <p>震源を事前に特定しにくい地震を想定するにあたっては、「直下地震の地震動をどうやって決めていくかについては、基本ワーキンググループと一緒に考えていかなければならない。」「震源を事前に特定できない地震を全国一律で考えるのか、ローカリティを入れるのかの判断のために、震源断層の幅Wのばらつきから検討した資料を加えるべき。」との意見があった。</p> <p>また、「起こった地震がわかっているから、リニアメント、活褶曲が見つかり、その震源が特定できるが、現実的に地震が起こる前に、リニアメント、活褶曲が活動的かどうかは難しく、そう簡単に震源が特定できるとは言えない。」「観測データの裏づけもまだ不十分ではないか。」等の意見があった。</p>	<p>震震W第1-4号 基準地震動の考え方の作業項目に関わるキーワード(案)</p> <p>震震W第2-3号 震源が特定できない地震の地震規模と活断層評価手法について</p> <p>震震W第3-2号 過去の地震の評価法-評価方法の整理</p> <p>震震W第3-3号 基準地震動に関する議論のまとめ</p> <p>震震W第3-4号 現行指針における基準地震動の評価法と許容限界の考え方</p> <p>震震W第4-2号 活断層調査の調査範囲と調査内容</p> <p>震震W第4-3号 海域の地質調査手法</p> <p>震震W第4-4号 活断層の評価法</p> <p>震震W第4-5号 地震地体構造</p> <p>震震W第4-6号 日本のスラブ内地震</p> <p>震震W第7-4号 「震源を特定しにくい地震等の評価」に関する地震調査委員会の検討について</p> <p>震震W第8-2号 設計用地震の区分と想定すべき地震について</p> <p>震震W第8-3号 他機関における設計規準等について</p> <p>震震W第9-3号 鳥取県西部地震に関連する調査等について</p> <p>震震W第10-2号 震源を事前に特定できない地震の考え方と地震動の策定について</p> <p>震震W第11-2号 コメント回答</p>		

区分	ワーキンググループ における検討項目 (「震震W第1-2号」参照)	検討状況等の概要	関連資料	引続き WGで 検討する 項目	備考
	20 地震発生の確率論的評価	<p>これに関しては、「データベースとした既往の20地震について、地表地震断層と地震の規模の相違等について整理を行ったところ、ほぼ地震規模に見合う活断層又は地表地震断層が認められた。一部、活断層の端部が海域又は沖積層に没しており、文献調査のみでは評価できないものもあるが、これらは原子力発電所の立地の際に行う詳細な調査により、その延長部を適切に評価することとなる。」との説明があった。</p> <ul style="list-style-type: none"> 地震発生の確率論的評価にあたり、切迫性については、現行の耐震指針では考慮されていないし、他の施設の基準類でも考慮されていない。 	<p>震震W第1-4号 基準地震動の考え方の作業項目に関わるキーワード(案) 震震W第3-3号 基準地震動に関する議論のまとめ 震震W第7-4号 「震源を特定しにくい地震等の評価」に関する地震調査委員会の検討について 震震W第8-2号 設計用地震の区分と想定すべき地震について</p>		
	22 地質調査に関する基本的要求事項	<ul style="list-style-type: none"> 最近の調査法の進歩により従来に比べ明確に解明できるようになってきたことを整理することが必要。 活断層調査の方法がどの程度確実なのかについて評価が必要。 	<p>震震W第2-3号 震源が特定できない地震の地震規模と活断層評価手法について 震震W第3-1号 鳥取県西部地震に関連する調査等について 震震W第4-2号 活断層調査の調査範囲と調査内容 震震W第4-3号 海域の地質調査手法 震震W第9-3号 鳥取県西部地震に関連する調査等について</p>		
基準地震動	17 基準地震動の考え方	<ul style="list-style-type: none"> 設計用地震動の設定にあたっては、最終的な目標が大衆の被ばく線量をいかに小さくするかということであるならば、S_1とS_2に分けずに、唯一の地震動を設定すればよい。 S_3地震動というものを考える必要はない。 基準地震動の考え方については、S_1、S_2の概念を明確化させ、その概念を変える必要があるかどうかを、最新の知見を踏まえて検討する必要がある。 解放基盤表面の用語は、国際的には通用しない。国際的に十分理解が得られるような言葉で指針を作るべきである。 	<p>震震W第1-4号 基準地震動の考え方の作業項目に関わるキーワード(案) 震震W第3-3号 基準地震動に関する議論のまとめ 震震W第3-4号 現行指針における基準地震動の評価法と許容限界の考え方 震震W第8-3号 他機関における設計基準等について</p>		
	18 基準地震動の算定法	<p>S_2地震動の概念については、「現在の地震学の知見で言うと、S_2にもっといろいろ盛り込む余地がある。」</p> <p>経験式が持つばらつきを考慮にあたっては、「地震動のばらつきをどこまで考慮すれば安全上問題がないかを、施設の方まで含めて考えるべき。」</p> <p>地震動の評価の方法については、「大崎の方法で安全性が確保されるのであれば、古</p>	<p>震震W第1-4号 基準地震動の考え方の作業項目に関わるキーワード(案) 震震W第5-1号 基準地震動の評価法 震震W第5-2号 最新の地震動評価法</p>		

区 分	ワーキンググループ における検討項目 (「震震W第1-2号」参照)	検 討 状 況 等 の 概 要	関 連 資 料	引続き WGで 検討する 項目	備 考
		<p>い方法であっても問題はない。」一方、これに対して、「大崎の方法に問題はないと結論づけるのは早急に過ぎる。」等の意見があった。</p> <p>震源が特定しにくい地震による地震動の確率論的評価については、「地表地震断層の出現率の設定は、まだ検討の余地があるのではないか。」</p> <p>地震動シミュレーションについては、「断層パラメータのバラツキを考慮するにあたり、破壊開始点については、ユニラテラル (unilateral) なケースも計算した方がより適切ではないのか。」</p> <p>地震動評価の対象領域選定については、「領域の大きさが、評価結果に影響を与えるのではないか。」</p> <p>地震発生頻度の想定については、「G-R式の近似化に問題があるのではないか。」との意見があり。</p> <p>これに関しては、震源が特定しにくい地震による地震動の確率論的評価に伴う地表地震断層の出現率の設定については、「既往の地震による地表地震断層の出現率を参照し、地表の最大変位及び地表のひずみについて検討を行った上で設定しており、観測値の下限に近い値となっていることから、出現率としては小さめの（出現しにくい安全側の）評価をしていることになる。」</p> <p>地震動シミュレーションについては、「断層パラメータのバラツキを考慮するにあたり、破壊開始点の変化が評価に大きな影響を与えないことを確認している。」</p> <p>地震動評価の対象領域選定については、「計算領域の最外周部で生じている最大の地震動より大きな地震動については、領域を広げても超過頻度は同一であり、この地震動の範囲であれば、計算した超過確率一定のスペクトルは領域の大きさに影響なく評価されている。」</p> <p>地震発生頻度の想定にあたり、Mmax については、本検討では地表地震断層出現率を考慮している (Mj7.4 以上は全て出現するとしている) ので、影響はほとんどないと考えられる。」ことが紹介された。</p>	<p>震震W第5-3号 断層モデルによる地震動評価法 震震W第7-1号 コメント回答 震震W第10-2号 震源を事前に特定できない地震の考え方と地震動の策定について 震震W第11-1号 震源を特定しにくい地震による地震動の確率論的評価について 震震W第12-2号 第11回地震・地震動ワーキンググループにおける資料「震震W第11-1号」に関する意見及び回答内容等</p>		
	21 地震動の確率論的評価	<ul style="list-style-type: none"> 地震調査研究推進本部地震調査委員会の確率論的震動予測地図とある地点の地震動を評価することは、目的が異なるものである。 あるレベル以上の地震については、地震動のレベルの大小が発生確率の大小に必ずしも対応しない。 ハザードを表現するとき、超過確率で表現する場合とあるレベルの地震動が起きる確率で定義する場合と両方可能であるが、レベルの高い地震動の超過確率は必ず小さくなる。 	<p>震震W第1-4号 基準地震動の考え方の作業項目に関わるキーワード (案) 震震W第3-3号 基準地震動に関する議論のまとめ 震震W第7-4号 「震源を特定しにくい地震等の評価」に関する地震調査委員会の検討について</p>		
設計用地震	9 設計用地震力の考え方	<ul style="list-style-type: none"> 水平地震力と上下地震力の組合せ法については、SRSS法を適用するためには、非常に震源に近いところで水平と上下の位相の相関が高いような記録があるかないかを検証することが必要である。 	<p>震震W第9-1号 現行の耐震設計審査指針における静的地震力の考え方</p>	○	

区分	ワーキンググループ における検討項目 (「震震W第1-2号」参照)	検討状況等の概要	関連資料	引続き WGで 検討する 項目	備考
新構造様式 新立地様式 等	15 第四紀層地盤立地	<ul style="list-style-type: none"> 新しい指針に地下立地や人工島立地を入れるのであれば、基本ワーキンググループだけではなく、地震・地震動ワーキンググループでも審議すべきである。 	震震W第9-2号 上下地震動を考慮した耐震性評価法の検討 震震W第7-3号 第四紀層地盤立地に関する知見の整理 震震W第8-1号 コメント回答		
	16 免震構造、制振構造	<ul style="list-style-type: none"> 免震・制振を指針に取り入れる場合、その基本的考え方が正確にわかるものにするべき。 	震震W第7-2号 免震・制振に関する知見の整理 震震W第8-1号 コメント回答		
	23 地震随伴事象	<ul style="list-style-type: none"> 津波の影響は高さだけではなく、砂移動による影響等も考慮すべきであることから、最新の知見について整理を行った。 現在行われている原子力発電所の安全性に対する津波の影響評価が十分であるかどうか、津波に関して今後検討する課題である。 津波を地震随伴事象として含めるかどうか、含める場合にはどう扱うべきかを議論すべき。 津波に対する指針が必要であればこの議論に入れればいいし、そうではなく、行政庁に任せて詳細設計の中でみてくれればよいのであれば、急いでやる必要はない。」との意見があった。 また、基礎地盤及び周辺斜面の安全性評価にあたっては、「地盤の安定性評価において、横方向に不連続がある場合等、今後は3次元での検討を行うべき時期に来ている。」との意見があった。 	震震W第6-1号 地震随伴事象 津波に対する安全性評価 震震W第6-2号 地震随伴事象 基礎地盤及び周辺斜面の安全性評価 震震W第7-1号 コメント回答		

耐震指針検討分科会
地震・地震動ワーキンググループ
における検討状況
(案)

平成15年12月26日

目 次

はじめに.....	1
1. 検討方針.....	2
2. 検討状況.....	3
(1) 設計用地震力の考え方.....	3
(2) 第四紀層地盤立地.....	3
(3) 免震構造、制振構造.....	3
(4) 基準地震動の考え方.....	3
(5) 基準地震動の算定法.....	4
(6) 設計用地震の区分と想定すべき地震.....	5
(7) 地震発生確率論的評価.....	7
(8) 地震動の確率論的評価.....	7
(9) 地質調査に関する基本的要求事項.....	7
(10) 地震随件事象.....	7
3. 検討状況のまとめ.....	8
耐震指針検討分科会 地震・地震動ワーキンググループ構成員.....	9
耐震指針検討分科会 地震・地震動ワーキンググループ検討経緯.....	10
添付参考資料 1	
地震・地震動ワーキンググループの作業項目とこれまでの意見について.....	11(省略)
添付参考資料 2	
基本ワーキンググループから地震・地震動ワーキンググループへの提言.....	49(省略)

はじめに

原子力安全基準専門部会は、原子力安全委員会から指示を受け、平成13年7月3日に各分野の専門家からなる耐震指針検討分科会を設置し、「耐震安全性に係る安全審査指針類について」のうち、「発電用原子炉施設の耐震設計審査指針」（昭和56年7月20日決定）及び「原子力発電所の地質、地盤に関する安全審査の手引き」（昭和53年8月23日決定）について、最新知見等を反映し、より適切な指針とするために必要な調査審議を実施することとした。

これを受け、耐震指針検討分科会では、調査審議にあたり検討すべき項目の抽出を行い、第3回会合において、分科会における検討にあたって必要な各種知見等の整理作業を行うため、基本、施設、地震・地震動の3つのワーキンググループを設置するとともに、第4回会合において、各ワーキンググループにおいて検討すべき項目の整理・分類を行った。

以来、地震・地震動ワーキンググループでは、124回の会合を開催し、これらの検討項目に沿って、分科会の検討に必要となる各種知見等の整理作業を進めてきた。

本検討状況は、これまでの作業内容を要約し、今後の耐震指針検討分科会における調査審議に資することを目的としてとりまとめたものである。

1. 検討方針

地震・地震動ワーキンググループでは、ワーキンググループの設置にあたり、本ワーキンググループにおける作業内容とされた「地震動評価法及び設計用地震の想定に関する最近の知見の反映、並びに地震発生・地震動の確率論的評価法の導入等の検討に必要な各種知見等の整理作業」を中心に検討を行った。

具体的作業は、分科会において示された、次に掲げる検討項目に沿って、関係する最新の知見の紹介などを行うとともに検討を行った。

<本ワーキンググループにおける検討項目>

- ・ 設計用地震力の考え方
- ・ 第四紀層地盤立地
- ・ 免震構造、制振構造
- ・ 基準地震動の考え方
- ・ 基準地震動の算定法
- ・ 設計用地震の区分と想定すべき地震
- ・ 地震発生の確率論的評価
- ・ 地震動の確率論的評価
- ・ 地質調査に関する基本的要求事項
- ・ 地震随件事象

また、本ワーキンググループと並行して行われた基本ワーキンググループの検討においても、地震・地震動ワーキンググループにおける検討項目に踏み込んで検討されるものがあり、この提言内容については、本検討において未子のものもあることから、地震・地震動ワーキンググループとして参考とすることとした。

2. 検討状況

以下に、「1. 検討方針」に基づき行った作業内容及び各委員からいただいた主な意見などを検討項目ごとに示す。

(1) 設計用地震力の考え方

静的地震力の取扱い、上下地震力の動的解析、上下地震力と水平地震力との関係等について、指針に反映すべき項目に関する最近の技術的知見及び関連する基準類の動向について整理を行った。

その際、水平と上下地震力の組合せ法については、「SRS法を適用するためには、非常に震源に近いところで水平と上下の位相の相関が高いような記録があるかないかを検証することが必要である。」との意見等があった。

(2) 第四紀層地盤立地

関連する最近の地質評価法を踏まえ、第四紀層地盤に対する考え方とその適用性について整理を行った。

その際、「新しい指針に地下立地や人工島立地を入れるのであれば、基本WGだけでなく、地震・地震動WGでも審議すべきである。」との意見等があった。

(3) 免震構造、制振構造

関連する知見や技術基準等を踏まえ、免震構造・制振構造の適用性について整理を行った。さらに、床免震や機器免震を採用している事例等について知見の整理を行った。

その際、免震・制振を指針に取り入れる場合に当たっては、「その基本的考え方が正確にわかるものにすべき。」との意見等があった。

(4) 基準地震動の考え方

現行の耐震設計審査指針の基準地震動に関連する最近の知見及び他分野における基準地震動の考え方を踏まえ、発電用原子炉施設の耐震安全性確保に必要な基準地震動の考え方の整理を行った。

その際、設計用地震動の設定にあたっては、「最終的な目標が大衆の被ばく線量を

いかに小さくするかということであるならば、S1 と S2 とに分けずに、唯一の地震動を設定すればよい。」との意見があった。

また、リスクに関する議論もあり、一方、「S3 地震動というものを考える必要はない。」との意見もあった。

これらの意見を踏まえ、基準地震動の考え方については、「S1、S2 の概念を明確化させ、その概念を変える必要があるかどうかを、最新の知見を踏まえて議論したい。」との意見があった。

さらに、解放基盤表面の用語については、「解放基盤表面というのは、国際的には通用しない。国際的に十分理解が得られるような言葉で指針を作るべき。」との意見があった。

(5) 基準地震動の算定法

国の機関等で行われている地震動評価の状況を踏まえ、基準地震動の算定法を評価するにあたって考慮すべき事項について整理を行った。さらに、断層モデル等による地震動評価法については、断層モデルの各手法の特徴をまとめた比較の整理を行った。

その際、S2 地震動の概念については、「現在の地震学の知見で言うと、S2 にもっといろいろ盛り込む余地がある。」

経験式が持つばらつきの考慮にあたっては、「地震動のばらつきをどこまで考慮すれば安全上問題がないかを、施設の方まで含めて考えるべき。」

地震動の評価の方法については、「大崎の方法で安全性が確保されるのであれば、古い方法であっても問題はない。」一方、これに対して、「大崎の方法に問題はないと結論づけるのは早急に過ぎる。」等の意見があった。

また、震源を予め特定できない地震による地震動の策定について、国内外の岩盤での観測記録を用いた地震動レベルの検討に関する知見の整理を行うとともに、確率論的な観点から検討した知見の整理も行った。

その際、震源が特定しにくい地震による地震動の確率論的評価については、「地表地震断層の出現率の設定は、まだ検討の余地があるのではないか。」

地震動シミュレーションについては、「断層パラメータのバラツキを考慮するにあたり、破壊開始点については、ユニラテラル (unilateral) なケースも計算した方がより適切ではないのか。」

地震動評価の対象領域選定については、「領域の大きさが、評価結果に影響を与えるのではないか。」

地震発生頻度の想定については、G-R式の近似化に問題があるのではないか。」との意見があり。

これに関しては、震源が特定しにくい地震による地震動の確率論的評価に伴う地表地震断層の出現率の設定については、「既往の地震による地表地震断層の出現率を参照し、地表の最大変位及び地表のひずみについて検討を行った上で設定しており、観測値の下限に近い値となっていることから、出現率としては小さめの（出現しにくい安全側の）評価をしていることになる。」

地震動シミュレーションについては、「断層パラメータのバラツキを考慮するにあたり、破壊開始点の変化が評価に大きな影響を与えないことを確認している。」

地震動評価の対象領域選定については、「計算領域の最外周部で生じている最大の地震動より大きな地震動については、領域を広げても超過頻度は同一であり、この地震動の範囲であれば、計算した超過確率一定のスペクトルは領域の大きさに影響なく評価されている。」

地震発生頻度の想定にあたり、Mmax については、本検討では地表地震断層出現率を考慮している（Mj7.4 以上は全て出現するとしている）ので、影響はほとんどないと考えられる。」ことが紹介された。

(6) 設計用地震の区分と想定すべき地震

設計用地震として想定すべき地震及びその区分方法等に関連する最近の知見の整理を行った。

その際、震源を想定するにあたっては、「現在の地震学の知見で言うと、歴史地震と活断層だけでは不十分で、プラスアルファを考える必要がある。」との意見があった。

また、「活断層と歴史地震の資料は、独立に違った精度で集めて、最後に勘案するもの。」

地震カタログを適用するにあたっては、「歴史地震からそのサイトに影響を及ぼす地震を選び出す際には、震源を点と見なさず広がりがある程度考慮して評価する必要がある。」

また、「江戸時代より前では、地震被害記録の資料がないからといって、そこに地震がなかったとは限らない。」との意見があった。一方で、「歴史地震の調査は、将

来の地震を予測する上ではあまり意味がない。」との意見があった。

さらに、地震地体構造については、「地震地体構造という概念が、現在の地震学に受け入れられるか、また安全審査に必要かどうか疑問である。」との意見があった。

活断層の評価にあたっては、「基準地震動 S1、S2 の策定における現行指針の、1 万年前以降活動、5 万年前以降活動の条件に入らないものでも現実に大きな地震は起きている。」「活断層を認識できる現状のレベルはどこまでかということと、それをこの現状レベルでどこまで基準に盛り込めるかということについて検討する必要がある。」「活断層の長さは過去に発生した地震によって累積された値である。」との意見があった。

また、「活断層がわかったからといって震源が特定できるとは、地震学的には言えない。Mj6.8 以上ならば震源は特定できると言い切るには、まだ問題が残っている。」

一方、松田式に対して、「地表に現れた断層の長さから地震を保守的に評価することは可能である。」との意見もあった。

さらに、「活断層の評価期間における工学的判断に関する従来の考え方について、イメージを作っていく必要がある。」との意見があった。

これに関しては「『震震W第 10-2 号』は、結論として「Mj6.8 以上ならば震源は特定できる」としているものではない」との説明があった。

震源を事前に特定しにくい地震を想定するにあたっては、「直下地震の地震動をどうやって決めていくかについては、基本ワーキンググループと一緒に考えていかなければならない。」「震源を事前に特定できない地震を全国一律で考えるのか、ローカリティーを入れるのかの判断のために、震源断層の幅 W のばらつきから検討した資料を加えるべき。」との意見があった。

また、「起こった地震がわかっているから、リニアメント、活褶曲が見つかり、その震源が特定できるが、現実的に地震が起こる前に、リニアメント、活褶曲が活動的かどうかは難しく、そう簡単に震源が特定できるとは言えない。」「観測データの裏づけもまだ不十分ではないか。」等の意見があった。

これに関しては、「データベースとした既往の 20 地震について、地表地震断層と地震の規模の相違等について整理を行ったところ、ほぼ地震規模に見合う活断層又は地表地震断層が認められた。一部、活断層の端部が海域又は沖積層に没しており、文献調査のみでは評価できないものもあるが、これらは原子力発電所の立地の際に行う詳細な調査により、その延長部を適切に評価することとなる。」との説明があった。

(7) 地震発生確率論的評価

地震発生確率論的評価について、その考え方と地震調査研究推進本部において行われている震源を特定しにくい地震等の評価手法について整理を行った。

地震発生確率論的評価の考え方については、「切迫性については、現行の耐震指針では考慮されていないし、他の施設の基準類でも考慮されていない。」との意見があった。

(8) 地震動確率論的評価

地震動確率論的評価について、最近の研究状況とその考え方について整理を行った。

その際、「地震調査研究推進本部地震調査委員会の確率論的地震動予測地図とある地点の地震動を評価することとは、目的が異なるものであることに留意すべきである。」

また、地震動確率論的評価にあたっては、「あるレベル以上の地震については、地震動のレベルの大小が発生確率の大小に必ずしも対応しない。」との意見があった。

一方、これに対して、「ハザードを表現するとき、超過確率で表現する場合とあるレベルの地震動が起きる確率で定義する場合と両方可能であるが、レベルの高い地震動の超過確率は必ず小さくなる。」との意見があった。

(9) 地質調査に関する基本的要求事項

最近の調査手法等を踏まえ、地質地盤の調査について地震動評価に係る項目と地盤安定性に係る項目について整理を行った。

その際、地質調査に関する手法については、「最近の調査法の進歩によって従来に比べ明確に解明できるようになってきたことを整理すれば、今までの指針のどこに問題があるかを見出すことができる。」

また、「活断層調査の方法がどの程度確実なのかについて評価が必要。」との意見があった。

(10) 地震随件事象

津波評価、地盤の安定性等について、最近の知見を踏まえ、それらの評価法について整理を行った。さらに、津波に対する安全性評価については、非常用海水ポンプの機能確保のためになされている津波対策等の知見整理を行った。

津波の評価にあたっては、「津波の影響は高さだけではなく、砂移動による影響等も考慮すべきである。」との意見があり、最新の知見について整理を行った。

さらに、「現在行われている原子力発電所の安全性に対する津波の影響評価が十分であるかどうか、津波に関して今後検討する課題。」、「津波を地震の随件事象として含めるかどうか、含める場合にはどう扱うべきかを議論すべき。」との意見があった。

一方、「津波に対する指針が必要であればこの議論に入れればいいし、そうではなく、行政庁に任せて詳細設計の中でみてくれればよいのであれば、急いでやる必要はない。」との意見があった。

また、基礎地盤及び周辺斜面の安全性評価にあたっては、「地盤の安定性評価において、横方向に不連続がある場合等、今後は3次元での検討を行うべき時期に来ている。」との意見があった。

3. 検討状況のまとめ

地震・地震動ワーキンググループにおいては、1240回の会合を重ね、各種知見等の整理作業を行ってきた。

このうち、本整理作業を通じて検討されてきた基準地震動の設定のあり方について出た意見としては、震源を事前に特定できる地震と震源を事前に特定できない地震とに区別して議論されるべきであるというものである。

まず、震源を特定できる地震については、最新の地質調査に基づき発電所敷地近傍を入念に調査した上で、さらにその強震動評価にあたっては断層モデル等に基づいた最新の評価手法を用いて検討すべきではないかという議論を重ねてきた。

しかしながら、それでも見落とすものについては、震源を特定できない地震として考慮すべきではないかと議論があり、その一知見として、国内外の岩盤での観測記録を用いた地震動のレベルの検討の整理を行うととも行ったところである。

その際、「活断層がわかったからといって震源が特定できるとは、地震学的には言えない。Mj6.8以上ならば震源は特定できると言い切るには、まだ問題が残っている。」、「起こった地震がわかっているから、リニアメント、活褶曲が見つかり、その震源が特定できるが、現実的に地震が起こる前に、リニアメント、活褶曲が活動的かどうかは難しく、そう簡単に震源が特定できるとは言えない。」、「観測データの裏づけもまだ不十分ではないか。」等の意見があった。

—今後さらに、確率論的な観点からの検討ではどの程度のレベルの地震動であるかの知見整理を行った。う予定である。

耐震指針検討分科会 地震・地震動ワーキンググループ構成員

グループリーダー 入倉 孝次郎 京都大学防災研究所 教授

阿部 清治 日本原子力研究所東海研究所
安全性試験研究センター センター長
(平成15年11月30日まで)

石田 瑞穂 独立行政法人 防災科学技術研究所 研究主監

石橋 克彦 神戸大学都市安全研究センター 教授

亀田 弘行 独立行政法人 防災科学技術研究所
地震防災フロンティア研究センター センター長
(平成14年9月20日より)

衣笠 義博 東京工業大学大学院総合理工学研究科 教授

小島 圭二 地圏空間研究所 代表

佃 栄吉 独立行政法人 産業技術総合研究所
研究コーディネータ (平成14年9月20日より)

平野 光將 独立行政法人 原子力安全基盤機構 総括参事
財団法人 原子力発電技術機構 理事

翠川 三郎 東京工業大学大学院総合理工学研究科 教授

(平成15年12月26日現在)

耐震指針検討分科会 地震・地震動ワーキンググループ検討経緯

第1回	平成14年2月28日	地震・地震動WGにおける作業方針について 基準地震動の考え方等について
第2回	平成14年6月3日	地質調査に関する基本的要求事項等について
第3回	平成14年8月9日	設計用地震の区分と想定すべき地震等について
第4回	平成14年11月25日	設計用地震の区分と想定すべき地震等について
第5回	平成14年12月19日	基準地震動の算定法等について
第6回	平成15年2月13日	地震随件事象等について
第7回	平成15年3月20日	第四紀層地盤立地、免震・制振構造、地震動の確率論的評価、地震発生 ^の 確率論的評価等について
第8回	平成15年4月28日	設計用地震の区分と想定すべき地震等について
第9回	平成15年6月23日	設計用地震力の考え方等について
第10回	平成15年7月28日	設計用地震の区分と想定すべき地震等について －震源を事前に特定できない地震による地震動(確定論的検討)
第11回	平成15年10月28日	設計用地震の区分と想定すべき地震等について －震源を特定しにくい地震による地震動の確率論的検討
第12回	平成15年12月1日	設計用地震の区分と想定すべき地震等について －震源を特定しにくい地震による地震動の確率論的検討

施設 WG の基本的対応についての私見

施設 WG
G.L.
柴田 碧

- [0] 現在、12月26日（予定）の分科会にむけ分科会での対応の検討が進められている。
- [00] これに対する施設 WG の G.L.としての私見を述べる。
- [000] 上記の分科会および明年1～3月の不在予定であるので、分科会などの対応は小島 G.L.代理およびメンバーに一任する。
- [A] 指針本文案をなるべく早く作成、提案すべきである。
- [B] この案は、各項目が複数案提示であってもよい。
- [C] 施設 WG は、これに対し民間指針などで対応成立可能かどうかを検討する。
- [D] 成立可能なものについては、現状の発電所が合格するか、改善が必要なのかなどを検討する。
- [E] 今後新設のプラントについては、おおむねどのような案であっても、民間指針レベルでは対応が可能と考えている。
- [F] 最終目標はプラントの耐震安全性確保である。特別なレベルの要求でない限り、経済性は別として、工学面では対応可能と考えてよい。
- [a] 問題点とくに[F]に述べた事項の例を示す。たとえば重要度分類を2段階とする案が提示されたとする。
- [b] このクラス分けは、安全に関する判断であるので、安全審査の一環として原子力安全委員会としてなされるべきであると考えている。
- [c] 事故分類で放射性物質もれの事故と判断される事象が、S₁（基準）地震動で起る可能性のある機器、配管系はすべて“耐震重要性あり”と分類すべきであると考えている。
- [d] その他“なし”のレベル施設は S₁（基準）地震動ですべて損傷破壊されると考え、それがプラント安全に対しこの判断はどのような効果をもたらすか、その総合的評価を必要とすると考えている。
- [α] 以上、取敢えずの考え方を示した。
- [β] [a]～[d]は例示である。すべての指示の項目は、このようにして評価する。
- [γ] 評価結果が、具体的に対応可能であれば、複数案のいずれに対しても“可”と小生としては

解答することもあり得る。これにより、指針が定まったところで、具体的な設計方法などについては、改めて JEAG の内容に関連付けて考える。

【δ】 経済的考察は行うが可否の絶対条件としない。

<以上>

平成 12 年 12 月 @@ 日

「原子力発電所の地質，地盤に関する安全審査の手引き」の検討について

地震・地震動WG委員 衣笠善博

12 月 1 日に開催された第 12 回地震・地震動WGにおいて，表題の「手引き」の検討が必要である旨の発言をした。その要旨は；

1. 上位の分科会，部会等から，当該「手引き」を検討するようにとの指示がありながら，未だ検討を行っていない事，
2. WGでの検討の整理（震・震W12-3）において，「手引き」が検討されな
いまま引用されている事，

から，WGにおいて当該「手引き」を検討する必要がある旨を述べたものである。

しかしながら，この発言は，当該「手引き」の改訂のみを意図したものではない。すなわち，WGでの検討にあたっては，代替の民間指針類が存在する場合，当該「手引き」の廃止も視野に入れて検討すべきであると考えられる。

廃止を視野に入れる理由。

1. 当該「手引き」は，地質・地盤に関する調査項目が記されているのみで，審査に際しての判断基準が示されたものではないこと。
2. 原子力施設の地質・地盤はサイト特性が大きく，地質・地盤の状況が異なるサイトに対し，汎用的に適用が可能な基準を設け，運用することが困難であること。
3. 「安全審査指針の体系化について」（平成 15 年 2 月 6 日安全委員会承認）において，民間指針類の積極的活用が求められており，当該「手引き」で求めている事項については，J E A G 4 6 0 1 等の活用が可能であること。

WGでの当該「手引き」の検討にあたっては，上記の状況を踏まえた検討が行われることを期待する。

以上

性能照査型設計の導入に係るポイント

- ・ 照査（審査）に係る具体的プラクティスの明示
 - ・・・体系的に「照査法」を制定
- ＊ 設計・解析に係る物性・モデル化、近似等の合理的扱い・・・客観性の確保

- ・ 「性能」の定義と取り扱い
 - ・・・「説明責任」に立脚
 - （経年・劣化及び振動など、合目的以外に保持すべきものも含め、必要十分に）

- ・ 検査ならびに維持管理の成立性
 - ・・・「保安体系」としての完結性に配慮

- ・ 設計に起因する事故・トラブルの回避
 - ・・・不可欠な技術上の配慮が失念されないための配慮
 - （座屈、フラッター、異常振動など）

- ＊ 民間指針としてのあり方
 - ・ 公的基準類との整合性（役割分担）
 - ・ 技術開発成果、新知見に関する迅速な対応

・機能性基準（性能設計）の枠組み

WTO/TBT 協定 1996年1月 「仕様に基づく規定ではなく、性能に基づく規定」・・・競争原理の導入による効率的な社会の追求



情報公開、規制緩和、自己責任、説明性

ポイント・・・研究・技術開発の成果、 + 「行政手続法」、「情報公開法」
 新知見等に迅速に対応

I. Out puts → Out comes

① 性能明示型

機能保持 → 具備すべき性能のレベル

↑
照査するための荷重レベル

明示

- ① 構造に関する性能を説明
- ② 設計時に適切なメニューを選択

例
・鉄道構造物設計標準

② 性能照査型

機能保持 → (要求性能をブレイクダウンせず)

要求性能そのものを提示
 ↓
これを照査することを規定

明示

- ① 公共の福祉を守るための行政の規制水準
- ② 公平で自由な競争原理の導入

例
・ICC 建築物性能コード (ICC2000)

①、②の融和型

- ・建築基準法
- ・港湾施設の技術基準

II. 基本事項

① 限界状態設計法

終局状態設計法と信頼設計（信頼性理論）の融合

最近の傾向 …… 限界状態

- ・使用限界
- ・修復限界
- ・終局限界

状態

☆「性能設計」を実現する現段階において尤もふさわしい設計法は「限界状態設計法」である ……と結論づけられる。

② Deemed to satisfy (適合見做し規定)

「限界状態を全く再現しない計算方法などで構造物の性能を照査する」 ← これらの照査法の有効性は経験により保証される。

③ 不確実性の定量化

設計の経済性の観点

→ 設計全体のバランス、重点化すべき研究・技術開発の方向が示唆される

・CODE CALIBRATION

→ 既存の構造物は社会の許容水準を満足する安全余裕があるものとして、そのレベルを逆算しようとするもの

管理規定
Administrative Provisions

○○○○○(行政上の手続き事項)

性能コードの階層構造を定義する基準は？
Reviewを定義する基準は？

要求性能

照査・明示

目的
Objectives

原子力基本法

核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律
第二十四条(許可の基準)

機能規定
Functional Statement

省令第七十七号
実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則
省令第六十二号
発電用原子力設備に関する技術基準

要求性能
Performance Requirements

安全審査指針
発電用軽水炉原子炉施設に関する安全設計審査指針
発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針
原子力発電所の地質、地盤に関する安全審査の手引き

検査方法
Verification Methods

許容される方法
Acceptable Methods

告示452号
コンクリート製原子炉格納容器の構造等の技術基準
告示501号
発電用原子力設備に関する構造等の技術基準
民間規格・基準
原子力発電所耐震設計技術指針
鉄筋コンクリート構造計算規準
建築基礎構造設計指針、等

将来、告示は
民間規格の
引用に？

関係法規
建築基準法

国際基準との整合性の検討
照査に使用する規格・基準の審議、承認プロセス

関連法規の位置づけはどこで？

性能コードの階層構造

原子炉施設の耐震性に関する基準類

添付 1-3 技術的安全目標-項目 25: IAEA の「原子力発電プラントの基本安全原則」
安全シリーズ 75 番 INSAG-3, 1988 より

「既設の原子力プラントが技術的安全目標に合致するためのターゲット（目標）は、苛酷な炉心損傷の発生確率を約 10^{-4} /炉年以下とすることである。将来のプラントにおいては、全ての安全原則の実行により、約 10^{-5} /炉年以下という改善目標を達成すべきである。シビアアクシデントのマネジメントや緩和の対策を講じることにより、短時間に敷地外での対応が要求されるような大規模な敷地外への放射性物質の放出の起こる確率を上記の確率の少なくとも 10 分の 1 に減少すべきである。」

(参考原文)

IAEA "Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants," Safety Series, No. 75-INSAG-3, 1988

25. The target for existing nuclear power plants consistent with technical safety objective is a likelihood of occurrence of severe core damage that is below about 10^{-4} events per plant operating year. Implementation of all safety principles at future plants should lead to the achievement of an improved goal of not more than about 10^{-5} such events per plant operating year. Severe accident management and mitigation measures should reduce by a factor of at least ten the probability of large off-site releases requiring short term off-site response.

性能規定化について

建設大臣官房建設コスト管理企画室長 芦田義則

1. 性能規定とは

性能規定は、要求する性能(機能)と性能の照査方法を明らかにする形式で基準類を記述するものです。性能規定の対語は仕様規定です。仕様規定は寸法、形状などを具体的に記述したものです。従来からの基準類はどちらかという仕様規定に分類されますが、性能規定的な記述がある基準類もあります。性能規定と仕様規定の比較をすると表一1のようになります。基準類を性能規定化することの意義を整理すると次のようになります。

①社会への説明性の向上

ユーザーである国民・社会に対して建造物の持つ性能が明示されます。すなわち、従来の仕様のみでは形はわかって、耐震性能などは国民からはわかりにくい面がありましたが、それらがわかりやすくなることにより、説明性の向上が図られます。

②国際標準との整合

国際的な基準類制定の考え方との整合性が図られます。すなわち、「貿易の技術的障 害に関する協定(WTO/TB T協定)の第2条第8項」では、「加盟国は、適当な場 合には、デザイン又は記述的に示された特性よりも性能に着目した製品の要件に基づく 強制規格を定める。」とされており、国際整合化の観点からも性能規定化が必要となっ ています。

③新技術の開発とコスト縮減

要求する性能(機能、水準)を中心とする内容の性能規定に改めることにより、従来の仕様(形、材質)にとらわれない新しい技術の開発や多様な建造物の設計が可能となり、結果的に同一機能の建造物の品質向上やコスト縮減をもたらすことが期待できます。

2. 性能規定化された基準類の体系

性能規定のみでは、設計ごとに要求性能を満足していることを証明することが必要となり、手間を要することになります。反対に、従前の仕様規定は、形状等で要求性能の満足性を判断できるため、設計の効率性確保には有効な方法です。よって、今後は両者の長所を活かせる形で基準類を体系化することが必要となります。すなわち、性能規定化した体系においては、強制規格となるものは要求性能(機能)のみの記述とし、その実現方法は基本的に設計者等に任せることを基本とします。一方、設計や生産を効率的に実施するためには、仕様規定が便利でありますので、要求性能を満足することを証明された仕様規定を任意規定として整備する体系が考えられます。

表一2 性能規定化した基準の体系例(ノルディック建築基準委員会(NKBLLevelSystem)より)

3. 設計の基本

設計の基準に関して注目すべき基準にISO2394(建造物の信頼性に関する一般原則)があります。本基準は、従来、わが国にない基準であり、土木・建築、コンクリート・鋼・地盤を問わずすべての建造物設計の基本的な考え方を包括する基準です。このような基準体系の整備は、現在ISOよりもCEN(欧州標準化委員会)において精力的に進められています。

図一1(省略) ユーロコードの全体体系

4. 土木建築にかかる設計の基本検討

ISO2394もしくはコード0の特徴を簡単にいえば、「限界状態設計」、「信頼性設計」、「性能設計」の概念を全面に導入して、建造物設計の基本的な考え方にかかわる事項を規定するものです。このような考え方は、我が国の多くの土木建造物の設計基準とは異なる状況となっています。一方、前述のCEN(欧州規格委員会)における検討は2003年にはほぼ全体が完了し、ISO原案として提案されるであろうとも言われています。

わが国はこのような設計に関する国際標準との整合化を求められる恐れがあります。しかしながら、既往の設計基準との比較や我が国の技術的蓄積を踏まえての検討が十分なされないなかで、「限界状態設計」等の概念を設計基準に急激に導入することは種々の混乱を招く恐れが高く、十分な検討が必要です。このため、建設省では、学識者専門委員会としての「土木建築にかかる設計の基本検討委員会(共同委員長:長瀧重義新潟大学建設学科教授、岡田恒男芝浦工業大学建築工学科教授)」を平成11年1月に設置しました。本委員会では、設計の基本に関するISO標準および関

係基準を踏まえ、土木建築の各分野における設計基準の差異を明確にし、その整合を図り統一化された考え方のもとにわが国の「設計の基本」を作成することを目的に検討が進められています。その審議項目は、「限界状態の定義」、「作用と荷重」、「耐震」および「部分安全係数」です。

現在、いままでの議論を取りまとめて1次案を作成中です。本1次案は各界から幅広くご意見をうかがうために作成しているものであり、それらの意見を踏まえて、最終的にはわが国の構造物設計の基本となる技術標準につなげていきたいと考えています。

一方、平成12年9月に策定された公共工事コスト縮減対策に関する新行動指針では、基準類の性能規定化が重要な施策として位置づけられたところであり、道路橋示方書、河川砂防技術基準(案)についても性能規定化を具体的に進めることになっています。

表一1 性能規定と仕様規定

	性能規定	仕様規定
特徴	要求する性能中心の記述	材料、形状、寸法等を具体的に記述
利点	社会的わかりやすさ 手段の選択の自由 代替性がある(多様な技術)	具体的 誰でもわかる 適合性審査がやさしい
課題	性能評価が煩雑 高度な技術が必要 技術者の責任増大	目的が不明 代替性がない 技術進歩への対応が不備

表一2 性能規定化した基準の体系例(ノルディック建築基準委員会(NKBLLevelSystem)より)

強制規格	レベル1	目的(目標性能)	建造物のあり方 (社会がわかる言語表現)
	レベル2	機能的要求	建造物が有すべき機能項目 (工学的指標での定性表現)
	レベル3	性能表現による要求水準	機能要求項目ごとの目的 実現のための特定された要求 (定量表現の判断基準)
任意規格	レベル4	検証方法	性能要求水準への適合性を実証する ガイドライン(計量法、試験法等)
	レベル5	適合みなし規定	基準に適合するとみなせる手法による 解の例(具体的仕様)

記者発表資料

「土木建築にかかる設計の基本」(1次案)の策定について

平成12年12月27日

建設省

1. 概要

ISO(国際標準化機構)において策定される国際規格については、WTO(世界貿易機関)の政府調達協定により政府機関においてはその遵守が求められています。また、ISO規格はその内容が非常に多岐にわたっており、建設に係わる分野においても、例えば、設計・施工に係わる規格策定も進められています。こうした背景にあって、我が国の技術標準の国際性の担保および我が国で蓄積された技術による国際貢献(我が国の技術の国際規格化)を目途として、分野・構造種別を超えた「設計に係る基本」をとりまとめるために、土木・建築の各分野の学識者等から成る学識委員会を平成10年12月に設立しました。委員会では、CEN(欧州標準化委員会)で策定されたISO2394(構造物の種類・形態によらない設計の基本に係わる事項を規定している技術標準)に相当する技術標準を意識して、土木・建築の自らの分野にとらわれずに、「土木建築にかかる設計の基本」に関する議論を進めてきました。これらの議論を踏まえ、本案は、関連分野の方々のご意見をお聞きするために整理したものです。ここでとりまとめられる内容は、技術の国際的な標準化への対応を意識したものであることは上述の通りですが、さらに、我が国の設計に係る技術標準の将来的な改訂に際して、様々な分野の枠組みを超えた議論が今後も継続的になされ、国際性を有した技術標準を策定する一助となることを目的としています。

2. 「土木・建築にかかる設計の基本」の構成

設計の基本に関わる根幹的事項を下記のとおり抽出し、検討を行いました。

根幹事項	概要
基本的要求性能	設計に際しての基本的な要求条件をどのように設定するか。
限界状態	どのような限界状態を設定するか。
作用(荷重)	基本的な作用(荷重)の取り扱いをどのように規定するか。
部分係数法等の照査法	部分係数法等の照査方法に関する基本的な考え方をどのように設定するか。
耐震	国際的なレベルでの耐震設計に関する基本的な考え方をどのように設定するか。

3. 今後の予定

今後は、平成13年2月まで各学会等から意見を伺い、その後再検討を行った後、ガイドラインとして最終的に取りまとめる予定です。

問い合わせ先

建設省 大臣官房技術調査室 技術審議官付補佐 山本 剛 3580-4311(内線2394)
住宅局 建築指導課 課長補佐 香山 幹 3580-4311(内線3966)

「土木建築にかかる設計の基本」(1次案)(PDFファイル)

1次案に対する意見の募集について

土木構造物の耐震基準等に関する「第二次提言」

社団法人土木学会

平成8年1月10日

本文

はじめに

わが国は、常に自然災害の危険性にさらされている。一方で、自然に対するわれわれの知識は限られている。われわれは自然に対して謙虚であるとともに、防災機能、環境の保持、経済性のバランスのもとに、国土、地域、および都市づくりを考えることの重要性を再度認識する必要がある。

阪神・淡路大震災の甚大な被害は、高度な社会基盤施設と稠密な人口分布をもつ大都市の直下に発生した大地震に対し、主として、1) 構造物の耐震性の不足、2) 市街地構造および都市機能システムの不備、3) 被災後の危機管理の不備、の3種類の問題に起因しており、これらの問題は互いに強く関連している。本来、ある規準の下で建設された構造物が絶対に破壊しないと断定することはできない。また構造物の直接的被害はなくても、火災などによる間接的被害も発生しうる。したがって、構造物の耐震性能の強化とあわせて、より広い観点から総合的な地震防災性の向上が図られるべきである。

そのためには、耐震設計基準のもとで構造物を建設する技術のみでは十分ではなく、設計における地震力を上回る超過地震力への対応も必要となる。限られた財源、構造物や土地利用の改変に伴う困難等、様々な制約条件の中で、未知の超過地震力に対応することになる。この対応は、指針となるべき絶対的な論理的決定根拠が存在しないがゆえに、国民の価値観に依存する意思決定に基づくこととなる。

阪神・淡路大震災は、過去の震災の記憶の風化と、そのことの危険性を改めて示した。さらに人口の都市への集中、社会施設の高度化が進む現在、以前にも増して地震が与える重大な被害と影響を強く考慮しなければならないことを示した。社会の現状と将来に向けて、防災に関わる国民の価値観ないし意識は、教育や啓蒙、訓練等によって絶えず磨き高められていなければならない。

このような地震災害を繰り返さないために最も重要なことは、徹底した震災原因の解明が行われることである。そのために、地震動の観測記録や構造物被害の調査結果に関する情報に基づいた関係分野の技術者および研究者による横断的かつ広範囲な検討が必要であり、早急に促進されなければならない。

土木学会では、平成7年5月に第一次提言を発表して以来、提言内容の深度化を目的として4つの分科会を組織して検討作業を続けてきた。第一次提言は、わが国の地震防災力を高める各方面の努力のなかで、真剣に受け止められ有効に活用されている。これを踏まえて二次提言では、より広い観点からの地震防災性向上の基本方針を新たに加えるとともに、第一次提言で示した土木構造物耐震性能の強化のための諸方策をより詳細に示している。第二次提言は、土木学会が学術的見地より望ましいと考える事項をとりまとめたものであり、今後の研究開発を待たなければならない事項が含まれている。今後、関係各機関が地震防災対策を立案する上で本提言が有効に活用されることを期待する。

1. 耐震性能照査で考慮すべき地震および地震動

1.1 震源断層近傍域での地震動を考慮することの必要性

兵庫県南部地震によって、多くの土木構造物が大きな被害を受けた。兵庫県南部地震は大都市近傍の内陸活断層の活動により引き起こされたが、マグニチュード7級の地震による震源断層近傍の地震動の問題は、従来の耐震基準等では取り入れられていなかった。兵庫県南部地震により、最大加速度約 8m/s^2 、最大速度約 1m/s 、最大変位 $30\sim 50\text{cm}$ の強い地震動が震源断層近傍の広い範囲で観測されたことはわが国初の経験であり、弾塑性設計が導入される以前の地上構造物や、比較的安全とされてきた地中構造物に対して、想定外の地震外力として作用したことが被害を大きくしたものと考えられる。一方、最新の耐震技術により建設された構造物が大被害を免れ、震源断層近傍域の強い地震動への工学的な対処が可能であることも多くの事例によって示された。

個々の活断層について見れば、その活動の再現期間は千年のオーダーに及ぶとされ、それが大都市圏を直撃することによる被害は典型的な低頻度巨大災害である。これを人間活動の時間スケールで表現すると、50年間の発生確率が5%程度であることと等価であり、このような低い発生確率の災害のもとで、土木構造物にいかなる耐震性能を保持させるかという観点から戦略的な判断がなされるべきである。さらに、強震観測による定量的な資料が得られる以前の時代を含めれば、過去においてマグニチュード7以上の内陸型地震により大きな被害を被った例が少なくないことは一次提言でも述べたとおりであり、全国のどこかでという観点に立てば、このタイプの地震も看過できない発生確率を持つと考えられる。このことから、兵庫県南部地震の経験を今後に生かすためには、現行の耐震設計の枠組みに加えて、内陸の断層破壊に起因する断層近傍の地震動の影響を、耐震設計に取り入れることが必要である。

1.2 設計地震動の体系への影響

第一次提言では、土木構造物の耐震性能の照査で考慮する地震動として、構造物の供用期間内に1~2度発生する確率を有する地震動、および陸地近傍で発生する大規模なプレート境界地震や直下型地震による地震動のように供用期間中に発生する確率は低いが大強度を持つ地震動、の二段階を考慮することが示されている。この考え方は、現行の耐震設計の一部ではすでに取り入れられており、それぞれ、レベル1地震動、レベル2地震動として位置づけられている。これらの地震動の耐震設計における目的と性格は以下の通りである。

- (1) レベル1地震動は、原則として、それが作用しても構造物が損傷しないことを要求する水準を示す。
- (2) レベル2地震動は、きわめて希であるが、非常に強い地震動を定式化したもので、構造物が損傷を受けることを考慮して、その損傷過程にまで立ち入って、構造物の耐震性能を照査する水準を示す。

レベル1地震動は、弾性設計手法と組み合わせられており、静的荷重または弾性動的解析用の地震動として設定されている。土木構造物は多種・多様であり、構造種別ごとに、その特性を反映した設計法の体系とノウハウが、多くの経験の蓄積の上に発達してきており、これを尊重するのが適当である。

一方、レベル2地震動を現行の設計体系において考慮する場合には、標準的地盤における弾性応答で1Gの設計地震動を考慮するなどの形で扱われているが、兵庫県南部地震で経験された強い地震動から、震源断層近傍域で発生する強震動を対象としたレベル2地震動の再評価が要請されている。以上の理由により、本章ではレベル2地震動の問題に限定して提言する。

さらに、内陸直下地震に特有の問題として、地震断層のずれによる相対変位が地表面にまで達し、構造物が断層を横断する場合がある。断層の正確な位置の特定が困難な場合があること、また線状構造物では断層を避けて通れない場合があることなど、現代の科学技術ではその対処が困難な場合が多く、今後の研究・開発を待たなければならない。

1.3 レベル2地震動の考え方

レベル2地震動は以下の考え方に従って設定する。

- (1) 内陸活断層によるレベル2地震動は、活断層に関する地質学的情報、地殻変動に関する測地学的情報、地震活動に関する地質学的情報を総合的に考慮して、地域ごとに脅威となる活断層を同定するとともに、その震源メカニズムを想定することにより定めることを基本とする。このため、その工学的方法の確立に向けて努力が傾注されるべきである。
- (2) 兵庫県南部地震を契機として、わが国では現在、上記の地球科学的研究が精力的に進められている。しかし、内陸活断層による地震の再現期間、その規模や地震動の特性の予測の精度は、耐震設計の基礎とするにはなお不十分なことが多い。このため、活断層の情報から直接地震動を定めることができない場合には、兵庫県南部地震等の断層近傍の強震記録をもとに震源断層の近傍で予想される標準的な地震動を作成して、レベル2地震動の基礎とする。
- (3) 関東地震のような、陸地近傍で発生する大規模なプレート境界地震による震源域の地震動は、内陸活断層による震源断層近傍の地震動とは異なる特性を持つと予想される。この型の地震による強震記録が存在しないため、現状では地震動の特性については多くの不明な点が残されている。このため、プレート境界で発生する巨大地震による地震動に関する研究を進める必要がある。

1.4 レベル2地震動の表現形式

レベル2地震動の表現形式は以下の通りとする。

- (1) レベル2地震動は、基本的に損傷制御の概念に基づく耐震設計に用いられるものであるから、地震動の動的特性を端的に示す表現で示されるべきで、応答スペクトル、または時刻歴地震波形で表すのが適切である。

(2) 地震動を与える地盤レベル

1) 基盤岩における地震動: レベル2地震動は、基盤岩において設定することを基本とする。兵庫県南部地震では、地盤構造の不整形性が地震動の局所的な増幅効果に大きな影響があったこと、また表層地盤の動的な非線形特性や砂質地盤における軟化現象が地震動の増幅特性に大きな影響を与えたことなどが指摘されている。こうした現象を評価して地震動を規定するためには、ここで定義する基盤岩より上部の三次元的な地層構造の情報を考慮することが不可欠であり、地形・地盤条件に関する情報の充実と研究開発の推進が急務である。

2) 工学的基盤面における地震動: 工学的基盤面における地震動は、当該基盤面における地震記録の分析、上記の手法の活用および以下に述べる地表面の地震動の逆解析などにより設定する。

3) 地表面における地震動: 基盤岩および工学的基盤面での観測記録が少ない現状では、それらの面での地震動を規定できない場合も多いと考えられるので、当面は強震記録の裏付けがある地表面で地震動を設定する。

1.5 地震動に関するその他の研究・開発課題

(1) レベル2地震動の適用範囲: レベル2地震動の適用範囲については兵庫県南部地震等の観測記録の分析や解析的手法による研究を促進する必要がある。対象とする断層を明確に同定することが困難な場合には、構造物の重要度、保有すべき耐震性能などにより、その適用範囲を慎重に検討すべきである。この場合、工学的な研究のみならず地球科学分野の最新の知見を反映させた学際的な研究を進展させる必要がある。

(2) 上下動の影響: 兵庫県南部地震において、構造物の損傷・破壊過程に対する地震動の三次元的影響、特に上下方向地震動の影響に対して注意が向けられ、その解明の努力が精力的に行われた。これまでのところ、主要な土木構造物の破壊に上下動が主因となったとの結果は出されていない。地震動の三次元的な性質が構造物の破壊過程に与える影響に関する詳細な研究は今後も継続されるべきである。耐震設計における上下動の影響を従来と異なる観点から扱うべきか否かについては、今後の耐震技術の高信頼度化への議論として位置づけ、必要となれば、上下動に関する設計入力地震動が改めて議論されるべきである。

2. 耐震設計法

2.1 提言の前提条件

本章では、レベル2の地震動に対して、土木構造物が保有すべき耐震性能と耐震設計法について述べる。土木構造物は、橋梁・ダムなどの地上構造物、岸壁・堤防・盛土などの土構造物、トンネル・埋設管路などの地中構造物、および橋梁・タンクなどの各種基礎構造等、極めて多種であり、かつ地盤条件や構成材料も多様であるため、これら多種・多様な構造物が保有すべき耐震性能を一律に論ずるのは困難である。それぞれの構造物の耐震設計法等の見直しに当たっては兵庫県南部地震による被害レベルの異なる構造物の被害原因の究明を十分行い、その結果を反映させることが重要であり、引き続き詳細な検討が実施されなければならない。このため、地上構造物、地下鉄・埋設管路などの地中構造物、および盛土・基礎などの地盤・基礎構造物の3つに大別して記述する。

2.2 地上構造物（橋梁）が保有すべき耐震性能と耐震設計

(1) レベル1地震動に対する耐震性能

- ・全ての構造物を対象とし、損傷を発生させないことを原則とする。このため地震時の動的応答が弾性限界を超えないものとする。

(2) レベル2地震動に対する耐震性能

- ・重要な構造物および早期復旧が必要な構造物は、損傷が発生したり、塑性変形が残留しても、地震後比較的早期に修復可能であることを原則とする。このため、構造物の最大の地震応答が許容される塑性変形もしくは極限耐力の限界を超えないものとする。
- ・上記以外の構造物は損傷して修復不可能となっても、構造物全体系が崩壊しないことを原則とする。このため、地震応答が終局の変形を超えないものとする。
- ・上記で言う構造物の重要度は一次提言で示したように、1) 構造物が損傷を受けた場合に人命・生存に与える影響の度合い、2) 避難・救援・救急活動と二次災害防止活動に与える影響の度合い、3) 地域の生活機能と経済活動に与える影響の度合い、を考慮して決定される。

(3) 地上構造物の耐震設計における留意事項と研究・開発課題

- ・レベル1地震動に対する構造物の動的応答を評価するに当たっては、線形応答スペクトルや時刻歴地震波形を用いた弾性解析を行い、また必要に応じて、上下動を含めた三次元的な影響を検討することが望ましい。
- ・レベル2地震動に対する構造物の動的応答の評価に当たっては、弾塑性時刻歴応答解析を実施するのが望ましいが、等価線形化解析法、許容塑性率に基づく設計スペクトルの活用などより簡便な方法を用いることも出来る。
- ・不静定次数の低い構造物については、特にレベル2地震動に対する保有耐力の確認を厳格に実施する必要がある。このため、各種の弾塑性解析手法の精度を載荷実験の結果との比較等により検討しておくのが望ましい。
- ・不静定次数の高い構造物については、鋼あるいはコンクリート構造物を問わず、損傷過程を考慮した終局変形性能の解析を行うのが望ましい。
- ・鋼構造物については、一部の構造物を除いて許容応力度法のみでの設計で、保有耐力や変形性能の照査が実施されていない。今後の耐震設計に当たっては、鋼構造物であってもこれらの照査を実施すべきである。特に変形性能を増大させるための断面構成あるいは、断面内応力の制限等についての研究開発を進める必要がある。
- ・周期の短い構造物の地震応答は、基礎-地盤系の非線形領域の動的相互作用の影響を大きく受けるため、この影響を設計に取り入れるための研究を推進すべきである。このための簡便な手法として、動的相互作用の効果を全体構造系の長周期化と減衰定数の増大として耐震設計に取り入れられるような手法が考えられる。
- ・構造物の耐震性を向上させるために免震・制震技術など新しい技術を積極的に導入すべきである。免震構造は比較的短周期構造物の変形性能と減衰性の増大を可能とし、エネルギー吸収機構を含む制震構造は長周期構造物の減衰性の増大を可能とする。

2.3 地中構造物が保有すべき耐震性能と耐震設計法

周辺地盤の地震時の変位・変形挙動と安定性が地中構造物の耐震設計の基本である。シールドトンネルや開削トンネルなどの大断面を有する地中構造物の耐震設計では、周辺地盤の地震時の変位の平面のみならず深さ方向を含めた三次元的分布、小断面の埋設管では管路線上の地震時の変位分布が重要である。したがって表層地盤の地震応答を十分に把握することが必要である。また、地盤の液状化やこれに起因して発生する地盤の側方流動は地中構造物の耐震性に大きな影響を与えるため、耐震設計にあたっては地盤の安定性を十分検討しなければならない。(1) 保有すべき耐震性能

- ・レベル1地震動に対しては構造物の機能が維持されるものとする。レベル2地震動に対しては、構造物が損傷しても機能に重大な支障が発生せず、かつ短期間で復旧が可能な範囲内での損傷に留めるものとする。

(2) 可撓性構造等の採用

- ・レベル2地震動に対しても地中構造物が所要の耐震性能を保持するため、可撓性を高めるための構造および材料を積極的に採用することが望ましい。また、構造部材の脆性的な破壊を防ぐための適切な構造細目を採用して一部の構造部材の破壊が全体的な破壊に繋がることのないようにしなければならない。

(3) ライフラインシステムの計画

・線または面状に敷設される上・下水道、電気、ガス、通信等のライフラインはレベル2地震動に対し、当該地域の地形・地盤条件および都市計画等を考慮して、幹線ライフラインについては機能を維持するよう計画し、適切な構造を選択する必要がある。経済性、地盤状況等によりこれが困難である場合、災害時に必要な機能を維持し、早急な復旧を可能とする様、幹線の設定、多ルート化、ブロック化の推進、代替手段の採用等システム面からの対策を取り入れる必要がある。

(4) 地震断層を横切る地中構造物

・活断層の位置が明確に知られている場合には、その位置での地中構造物の大断面化、二重化、可撓化、構造物と内部施設の絶縁化などの対策が考えられるが、技術的に困難な場合があるので、システムとしての代替性などのソフト面からの対策も併せて考慮する必要がある。

2.4 地盤および構造物基礎の耐震性能と耐震設計

(1) 構造物基礎の耐震性能

・レベル1地震動に対して上部および地中構造の機能を維持することを構造物基礎の耐震性能の目標とする。液状化発生の可能性がある地盤に関しては、地盤改良により液状化を発生させないことを一応の原則とするがそれが困難な場合には基礎構造の工夫や強化により上部構造の機能を保持できるようにする。
・レベル2地震動に対しては、上部および地中構造に重大な損傷が発生しないことを耐震性能の目標とする。地盤改良による液状化防止が困難な場合には、地盤の側方流動や沈下により基礎に過大な変位が発生し、上部構造に重大な被害をが生じないよう、基礎構造の強化や構造全体の見直しを行うものとする。

(2) 岸壁、堤防および盛土の耐震性

・岸壁・堤防等は延長距離が長く、ある程度の損傷は復旧が容易であるということを斟酌すると、全延長にわたって同じレベルの耐震性を持たせることは、経済的に見て妥当な方策と考えにくい。重要度の高い区間に対して、重点的に耐震性を強化するという施策を採用することが望ましい。
・レベル1地震動に対して、重要度の高い区間の岸壁、堤防、擁壁、盛土はその構造物自体の機能を維持すると同時に、地震後も当初の設計条件を保持するものとする。その他の一般区間については、周辺に悪影響を及ぼさない軽度の損傷は許容するが短期間に復旧が可能で、全体系としての機能が早急に回復できることを耐震性能の目標とする。
・レベル2地震動に対して、重要度の高い区間の岸壁、堤防、擁壁、盛土はそれらが支持する構造物や周辺の諸施設に重大な被害を生じさせないことを耐震性能の目標とする。なお、被災地への緊急輸送路の確保を目的とする重要施設(たとえば、耐震性強化岸壁)は、レベル2地震動に対して、その所期の機能を維持することを耐震性能の目標とする。その他の一般区間については、周辺に二次災害等の悪影響を及ぼさないことを目標とする。

(3) 地盤、構造物基礎、岸壁、堤防および盛土の耐震設計における留意事項と研究・開発課題

・礫が多く含まれた土でも砂質のマトリクス部分がある割合で存在すれば、この部分の密度、細粒分含有率、透水係数などの条件によっては液状化の可能性が生ずると考えられる。したがって、沖積層または埋立土層で礫を多く含む土についても、液状化判定の対象とするなどの改善を図るべきである。
・近年比較的密な砂質土の液状化強度が精密に調べられ、標準貫入試験のN値が20程度を越えると地盤の液状化強度は急激に増大することが明かにされている。また、震源域の地震動のように繰り返し回数が少ない場合には液状化強度が増大することが判明してきている。このような最近の知見を考慮し、高密度、低繰り返し回数のもとでの液状化強度を適切に評価できるよう基準等を改訂する必要がある。
・マサ土のような礫、砂、シルトからなる均等係数の高い土の静的および動的変形強度特性については未解明の問題が多く、この分野の研究の進展が望まれる。
・液状化による地盤の側方流動発生メカニズムと流動量の予測法に関する研究を促進する必要がある。
・側方流動を生ずる地盤内に設置された杭、ケーソンや埋設管等の挙動に関しては未知の点が多く残されている。この点の知見を考慮した基礎や管路の設計法を早急に確立するために、研究・開発の促進が必要である。
・岸壁、堤防、盛土、擁壁の地震時の挙動には未解明の点が多い。このため原位置観測やモデル実験等を通して地震時に発生する沈下や変形量等の評価手法や耐震性の向上方法についての研究・開発の促進が必要である。

3. 耐震診断と耐震補強

3.1 耐震診断

(1) 耐震診断の基本方針

・既存土木構造物の耐震診断は、概略的な方法による一次診断とより詳細な方法による二次診断によって行う。
・一次診断においては、阪神・淡路大震災による土木構造物の被害の実体を踏まえて診断の対象構造物を選定し、建設年代、準拠示方書、概略な構造特性および地盤条件等より、耐震補強を必要とする構造物および二次診断による耐震性能の詳細検討を必要とする構造物を抽出する。

一次診断では第一次提言で示された構造物の重要度に影響を与える諸要因〔1〕構造物が損傷を受けた場合に人命生存に与える影響の度合、2〕発災後の避難・救援・救急活動と二次災害防止に影響を与える度合、3〕地域の生活機能と経済活動に影響を与える度合〕に加えて、構造物が構成するシステム機能の代替性、建設時からの条件の変化等を考慮する。

・二次診断は、一次診断により耐震性能の詳細検討が必要と判断された構造物を対象とし、設計図書、地盤条件をもとに、レベル1地震動およびレベル2地震動に対して所要の耐震性能を有しているか否かを診断し、補強を必要とする構造物を抽出する。二次診断では、「構造物が損傷して修復不可能であっても崩壊しないこと」を構造物の耐震性能の最低限の目標とする。

二次診断では、必要に応じて対象構造物の現場計測、試験および地盤条件等の調査を行い、想定地震動強さに対する耐震性能を再設計や数値解析等により評価する。

(2) 耐震診断のためのデータベースの整備

・一次診断の円滑な実施のため、既存土木構造物に関するデータベース(準拠示方書等、建設年代など)の整備が急務である。

・建設年代が古く、構造物等に関するデータが不明な場合については、一次診断においてなるべく厳しい側の診断となるように配慮し、二次診断において必要な現場調査や各種試験を行って耐震診断に必要なデータの収集に努める。

(3) 構造系としての耐震性能

・耐震補強の対象とする構造部位の抽出にあたっては、補強が構造物の全体系としての耐震性能に与える影響を十分に考慮する必要がある。

(4) システムとしての地震防災性

・耐震補強の対象とする構造物の抽出にあたっては、それらの構造物が構成するシステム全体の地震防災性の効果的な向上を考慮する必要がある。

3.2 耐震補強

(1) 耐震補強の基本方針

・既存土木構造物の耐震補強においては、新設構造物と同様、レベル1地震動およびレベル2地震動の二種類を考慮する。この場合、補強の対象となる構造物の供用期間は原則として新設構造物と同等とする。

・耐震補強において目標とする耐震性能は新設構造物と同等とすることを原則とする。すなわち、新設構造物と同様に、構造物の重要度と耐震補強において想定するレベル1およびレベル2の地震動の発生確率を考慮することにより補強の目標とする耐震性能を設定する。

・既存土木構造物の中には耐震性能レベルを新設と同等に引き上げることが施工性あるいは経済性の観点から困難な場合が考えられる。このような場合には、構造物の重要度を十分に勘案したうえで、地震後の早期復旧体制や機能の代替性の整備などによるソフト面の対策を講ずる必要がある。また、撤去・新設も視野に入れた検討も必要である。

(2) 優先順位

・耐震補強の優先順位は、前述した構造物の重要度に加え、地域における地震発生時の切迫度等を考慮して決定する。さらに、優先順位の決定にあたっては、構造物が構成するシステム全体の地震防災性向上に与える影響度合と経済性をも併せて考慮することが重要である。

・優先順位の決定に際しては、その根拠を明確にしておく必要がある。

(3) 耐震補強の方法

・耐震補強の方法は、施工性、安全性、経済性、周辺環境に与える影響度および維持管理の容易性を考えて選定されなければならない。このため、構造特性や現場環境に適合した新工法の開発や新材料の活用を積極的に行う必要がある。

(4) 補強構造物の耐震性能評価

・補強された構造物の耐震性能は定量的な方法によって評価する。このためには必要に応じて実物大の試験、数値解析および地震観測等を行って評価方法の妥当性を検証する必要がある。特に新工法や新材料を用いる場合には耐震性能の評価方法に関する十分な検証が必要である。

・補強された構造部位の耐震性能の評価にとどまらず、構造系としての耐震性能および他の荷重系に対する安全性も評価する必要がある。

・補強構造物が構成するシステムとしての地震防災性の向上の度合いについても評価する必要がある。

(5) 維持管理・補修

・補強された構造物は新設構造物と同等に綿密な定期的点検を必要とする。必要があれば地震観測や各種計測等を行い、目標とした耐震性能が保持されていることを確認する。

3.3 耐震診断および耐震補強に関する今後の研究・開発課題

(1) 構造物の特性に応じた耐震診断技術の開発

・土木構造物は多種・多様であるため、耐震診断の手法は構造物の特性に即したものでなければならない。既に開発されている診断技術を活用し、さらに必要な研究・開発を行って、それぞれの土木構造物に対して合理的で適切な耐震診断法を確立する必要がある。
・一次診断法は多くの土木構造物を対象とするため、なるべく簡易で経済的な方法とすることが必要である。二次診断法は既存構造物が保有する耐震性能を適切に評価する方法でなければならない。このため、最新の実験・試験技術および数値解析技術を活用することが必要である。

(2) 耐震補強技術の開発

・我が国全域で考えれば耐震補強を必要とする土木構造物は相当数に達するもの考えられる。また、多くの場合、構造物を供用しながら耐震補強工事を施工することが要求されるため、施工時間、施工スペースが制限され、かつ振動・騒音などに対する周辺環境からの規制条件も厳しくなると考えられる。このため、それぞれの土木構造物の特性にもとづいて、これらの諸条件を満たした適切な耐震補強技術を開発することが急務である。

(3) 設計図書等に関するデータベースの構築

・設計図書等に関するデータベースの構築は、適切かつ合理的な耐震診断と耐震補強にとって不可欠な要件であるとともに、地震後の被災構造物の復旧においても極めて重要である。このため、土木構造物を所管する関係各機関はデータベースの構築と整備に関する必要な研究・開発を積極的に行う必要がある。

4. 地震防災性の向上に向けて

4.1 土地利用および施設の適切な配置による面的な地域安全性の向上

(1) 地震災害アセスメント制度の導入

わが国の都市の多くは、道路、公園等のオープンスペースがきわめて少なく、また住宅地では狭い街路、少ない緑、林立する電柱に象徴されるように、インフラストラクチャーの整備はきわめて不十分と言わねばならない。加えて宅地は狭小であり、そこには耐震性能を保持しない、いわゆる既存不適格の建物が密集している。これらの地域では防災性はもちろん快適性においても先進諸国のそれと比べて極めて劣るものであり、その改善は我が国の抱える最大の都市問題である。これらの地域においては長年月がかかると思われるが、今後根本的な再整備が必要である。そのために以下に述べる「地区災害アセスメント制度」の導入が必要である。

- (1) 幹線および補助幹線道路、小河川等で区切られた一つの小ブロックを地区単位とし、この地区ごとにその自然条件、インフラストラクチャー条件、住宅条件の3つの要素から災害安全度を評価する。
- (2) 自然条件には、地形・地質条件、地盤条件等を、インフラストラクチャー条件には、道路、公園、消火栓等を、さらに住宅状況には、建物構造、階数、築年数等を考慮する。
- (3) それぞれの項目はそれぞれの地区の実態や住民の価値観に基づいて重みを付け、地区ごとに総合評価し、公表する。
- (4) これらの分析のために地理情報システム(GIS)を活用する。

このような分析・評価を行い、公表することによって各地区が自らの地区の置かれた状況を正しく理解し、またその状況が地価に反映されることになる。このことが地区改善への誘導策となり、住民自らの発意によって改善事業が励起されることになる。さらに、住民からの改善への要求に対して、行政は計画案の作成や財源的な助成などにおいて様々な支援制度を作り、従来の都市再開発事業、土地区画整理事業などの制度と組み合わせながら地区改善を進めるべきである。

(2) 都市・地域計画および各種施設の計画基準の点検と改訂

都市・地域計画において、従来より防災安全性は重要な計画目標の一つであったが、地域防災計画との連携が十分に行われていたとはいえない。

道路、公園等の都市施設は、幹線道路から補助幹線道路、区画道路に至る体系や広域公園から近隣公園に至る体系のように、本来、その施設規模およびサービス圏域による階層的体系をなすべきものである。わが国の都市の場合、この体系が十分確保されておらず、個々の施設の規模、配置共に不足していることは前述のとおりであるが、それらの計画基準の改善・拡充の必要性が従来より議論されてきた。それに加えて、被災時を考慮した最低限かつ緊急に確保すべき、避難・救援用道路、オープンスペース等をはじめとする各種都市施設の計画基準が整備されているとは言えない。地震防災性向上の観点から、都市・地域計画および各種施設の計画基準の点検と改訂を行なうことが必要である。この計画基準は、上記アセスメントを実行する上での、評価の尺度ともなるべきものである。

4.2 災害時の危機管理体制の改善による被害拡大の阻止

被災後の救援の遅れや、火災等への対応等災害時の危機管理体制の不十分さが被害の拡大をもたらした。被害拡大の阻止方策としては、平常時からの体制整備と訓練、被災時の状況把握、情報伝達、救助・救援活動の各段階があり、それぞれに關し以下の改善が必要である。

- (1) 各種防災情報の統合活用: 複数の政府機関、各自治体、民間企業等で災害情報の収集と伝達のシステム構築がすすめられつつあるが、それぞれのシステムは必ずしも十分調整されていない。それらの整合性確保と、災害時の一元的活用を前提とするシステム設計を行い、かつ防災訓練等を通じてその機能の十分な確認をしておくこと。
- (2) 災害管理の論理構築: 避難する人々の車両と救援車両の優先度、あるいは空からの散水による消防活動の是非等の例にみられるように、ある選択が被害を拡大する可能性と、逆により大きい被害を防ぐ可能性の間の厳しい選択が非常時には必要となる。平常時には社会的に受け入れ難いような非常時の論理(災害管理の論理)の導入の是非と社会的合意形成について検討し、状況に応じた対応方針を設定しておくこと。
- (3) 防災訓練の改善: 大震災時には公的救援活動の能力を越えて被害が拡大し得ることから、避難と火の元対策中心の訓練からコミュニティとしての救援体制を含めた被災時の行動のあり方についての訓練にその内容を変え、また設定されたシナリオに従って行われる従来の防災訓練(シナリオ演習型)から、さまざまな予想しない状況の発生への対応を訓練する内容(シナリオ欠陥発見型)に転換すること。
- (4) 防災専門家の養成: 地震災害が稀な現象であることから、過去の震災の教訓を継承し、持続的に整合性ある防災対策を実施していくためには、専門家が必要であることは明らかであるが、担当者の平常時の業務量や定期的人事移動体制は専門家の養成および配置になじまず、専門的知識を得た頃には他の部署へ配置転換されるという状況となりがちであった。高位の意思決定者を含め防災専門家の養成とその業務内容の再構築および組織内での位置づけが適切になされ、専門的ノウハウの常備体制が確立されること。

4.3 既存構造物補強費用と災害復興費用の負担ルールの明確化

社会基盤施設の耐震性レベル、既存構造物の補強工事期間、被災後の復興計画の決定には、それらに要する費用の大きさと、その財源負担のルールが大きな評価要因となる。それぞれの負担費用に対し、効果が評価され、補強、復興計画が決定されることが原則であるが、次のような価値観に関連する事項が存在する。

- 1) 阪神・淡路大震災のように被災地のみでは負担の限界を遥かに超える費用を要する反面、地域を限定するとその被害発生確率は極めて小さく、かつその時期が不確かであること。
- 2) 被害が経済的被害にとどまらず、人命や安心感等心情的領域に及ぶものであること。
- 3) 安全性向上のための投資増加は、新たなプロジェクトに対する予算を減ずることとなり、安全性向上効果とそれ以外の社会経済的効果の相対的評価を必要とすること。

防災投資による被害軽減効果を定量的に評価することは重要であり、4.1 のアセスメントと併せて実施することが必要である。その効果は防災対策の相対的な社会経済的効率を定める基準となり得る。ただし、保険や官民の多くの防災投資事例から明らかのように、防災投資額を被害軽減額の期待値より大きくとる場合が多く、想定していた以上の超過外力への対応も含め、防災投資のレベルは国民の価値観に基づく社会的選択の問題となる。また、その財源についても、阪神・淡路大震災に対処するための立法措置および財政的施策が講じられたが、時間的制約もあり議論が十分とはいえず、施設間の整合性、各種ルールの論理性、合意形成等に関し再検討の余地は大きい。ここに改めて、復旧・復興財政、既存施設の補強費用負担についてのルールの確立が必要である。

(1) わが国特有の財源制度確立による復興の促進体制: わが国のどの地域も潜在的に大震災の危険性を有するものの、その発生確率は小さい。このため、安全性の向上投資、被災に備えた保険的支出、被災時の復旧・復興費用負担のどれに關しても個別地域での対応は極めて難しい状況にある。このような状況は欧米諸国をはじめとするほとんどの国と異なっていることから、地震国として、わが国独特の復興財政システムを構築する。基本的には国民が全員で、かつ世代間で分担して社会基盤施設の復旧・復興のための財源を負担せざるを得ないが、その分担、および負担方式については、各施設の管理主体と負担ルールの関連、国・自治体・受益者の負担論理と分担、復興国債や特別増税あるいは強制地震保険等の特別財源、既存予算比率の大幅組み替えによる財源確保をはじめとして、さまざまな議論が存在する。これらの議論を集約し、大震災に速やかに対応できる財政システムを制度化する。

(2) 防災投資レベルに関する国民的合意: 設計基準の見直しによる耐震安全性向上のための工事費増加と経済性の問題について、納税者の立場からの議論を積極的に行い、21世紀を迎え、高福祉・高負担などの社会状況を踏まえた防災投資についての国民的合意を得る努力が必要である。

(3) 既存施設の補強費用に関する負担ルールの確立: 国、地方自治体、公社、公団、民間公益事業主体、管理主体による各種施設の補強費用負担のあり方についても、検討の余地は大きい。特に、民間公益事業主体や第三セクター等については、事業主体決定時に今回のような大災害は想定されておらず、そのため新設時の建設費用負担ルールをそのまま適用すると、早急に行うべき補強を遅らせる危険性も存在する。上記1)と同時に、この費用負担についても国民、地域住民、施設利用者の財源負担割合、世代間の負担割合、および被災地住民や利用者の負担能力等を勘案したルール構築を促進する。

土木学会「耐震基準等基本問題検討会議」の構成

社団法人土木学会

(順不同・1995-9-25 現在)

議長	田村重四郎	日本大学			
副議長	石原 研而	東京理科大学			
第1分科会 (地震動)	委員	亀田弘行	京都大学・防災研究所、分科会長		
		東原紘道	東京大学・地震研究所、分科会幹事		
		阿部勝征	東京大学・地震研究所(地震)		
		土田 肇	財団法人沿岸開発センター		
		伯野元彦	東洋大学、耐震工学委員会委員長		
		佐藤忠信	京都大学・防災研究所		
		浜田政則	早稲田大学、全体調整幹事		
		大町達夫	東京工業大学、全体調整幹事		
		家村浩和	京都大学、全体調整幹事		
		川島一彦	東京工業大学		
		分科会委員	工藤一嘉	東京大学・地震研究所(地震)	
		第2分科会 (耐震設計法)	委員	土岐憲三	京都大学、分科会長
				家村浩和	京都大学、分科会幹事
今田 徹	東京都立大学				
伯野元彦	東洋大学、耐震工学委員会委員長				
龍岡文夫	東京大学・生産技術研究所				
町田篤彦	埼玉大学				
浜田政則	早稲田大学、全体調整幹事				
東原紘道	東京大学・地震研究所、全体調整幹事				
大町達夫	東京工業大学、全体調整幹事				
分科会委員	井合 進			運輸省・港湾技術研究所	
	安田 進			東京電機大学	
	古賀泰之			建設省・土木研究所	
	国生剛治			電力中央研究所	
	佐伯光昭	日本技術開発株式会社			
第3分科会 (診断と補強)	委員	福本 士	大阪大学、分科会長、 土木学会鋼構造委員会委員長		
		浜田政則	早稲田大学、分科会幹事		
		岡村 甫	東京大学、 土木学会コンクリート委員会委員長		
		岡田恒男	東京大学生産技術研究所(建築)		
		川島一彦	東京工業大学		
		今田 徹	東京都立大学		
		佐藤忠信	京都大学・防災研究所		
		土田 肇	財団法人沿岸開発センター		
		龍岡文夫	東京大学・生産技術研究所		
		東原紘道	東京大学・地震研究所、全体調整幹事		
		大町達夫	東京工業大学、全体調整幹事		
		家村浩和	京都大学、全体調整幹事		
		分科会委員	西村昭彦	財団法人鉄道総合技術研究所	
			稲富隆昌	運輸省・港湾技術研究所	
			中野正則	建設省・土木研究所	

第4分科会 (地域防災計画)	委員	森地 茂	東京工業大学、分科会長
		大町達夫	東京工業大学、分科会幹事
		片山恒雄	東京大学生産技術研究所
		高田至郎	神戸大学
		首藤伸夫	東北大学
		浜田政則	早稲田大学、全体調整幹事
		東原紘道	東京大学地震研究所、全体調整幹事
		家村浩和	京都大学、全体調整幹事
	分科会委員	浅野光行	早稲田大学
		村橋正武	立命館大学
		黒田勝彦	神戸大学
		林 良嗣	名古屋大学
		稲村 肇	東北大学
		後藤洋三	株式会社大林組技術研究所、 土木学会 阪神・淡路大震災対応技術特別研究委員会 幹事長
オブザーバー			
ワーキンググループ	有岡謙一	東洋建設株式会社	
	小川安雄	大阪ガス株式会社	
	貞光誠人	大成建設株式会社	
	嶋田三郎	前田建設工業株式会社	
	末松直幹	不動建設株式会社	
	内藤静男	鹿島建設株式会社	
	中村 晋	佐藤工業株式会社	
	平井正哉	株式会社大林組	
	前 孝一	清水建設株式会社	
	松本正毅	関西電力株式会社	
	脇田和試	株式会社間組	
事務局	定道成美	主任・土木学会企画調整委員長	
	村橋正武	土木学会企画調整幹事長	
	柴山知也	土木学会企画調整幹事	
	河村忠男	土木学会事務局	
	柳川博之	土木学会事務局	

注：各分科会の中に必要に応じてワーキンググループが組織されている。

[阪神・淡路大震災対応技術特別委員会のホームページに戻る](#)

inf@civil.or.jp

性能規定化について

建設省建設大臣官房

建設コスト管理企画室長 芦田 義 則

1 性能規定とは

性能規定は、要求する性能（機能）と性能の照査方法を明らかにする形式で基準類を記述するものです。性能規定の対語は仕様規定です。仕様規定は寸法、形状などを具体的に記述したものです。従来からの基準類はどちらかという仕様規定に分類されますが、性能規定的な記述がある基準類もあります。性能規定と仕様規定の比較をすると表-1 のようになります。

表-1 性能規定と仕様規定

	性能規定	仕様規定
特徴	要求する性能中心の記述	材料、形状、寸法等を具体的に記述
利点	社会的わかりやすさ 手段の選択の自由 代替性がある（多様な技術）	具体的 誰でもわかる 適合性審査がやさしい
課題	性能評価が煩雑 高度な技術が必要 技術者の責任増大	目的が不明 代替性がない 技術進歩への対応が不備

基準類を性能規定化することの意義を整理すると次のようになります。

① 社会への説明性の向上

ユーザーである国民・社会に対して構造物の持つ性能が明示されます。すなわち、従来の仕様のみでは形はわかっても、耐震性能などは国民からはわかりにくい面がありましたが、それらがわかりやすくなることにより、説明性の向上が図られます。

② 国際基準との整合

国際的な基準類制定の考え方との整合性が図ら

れます。すなわち、「貿易の技術的障害に関する協定（WTO/TBT協定）の第2条第8項」では、「加盟国は、適当な場合には、デザイン又は記述的に示された特性よりも性能に着目した製品の要件に基づく強制規格を定める。」とされており、国際的な整合化の観点からも性能規定化が必要となっています。

③ 新技術の開発とコスト縮減

要求する性能（機能、水準）を中心とする内容の性能規定に改めることにより、従来の仕様（形、材質）にとらわれない新しい技術の開発や、多様な構造物の設計が可能となり、結果的に同一機能の構造物の品質向上やコスト縮減をもたらすことが期待できます。

2 性能規定化された基準類の体系

性能規定のみでは、設計ごとに要求性能を満足していることを証明することが必要となり、手間を要することになります。反対に、従前の仕様規定

は、形状等で要求性能の満足性を判断できるため、設計の効率性確保には有効な方法です。よって、今後は両者の長所を活かせる形で基準類を体系化することが必要となります。すなわち、性能規定化した体系においては、強制規格となるものは要求性能（機能）のみの記述とし、その実現方法は基本的に設計者等に任せることを基本とします。一方、設計や生産を効率的に実施するためには、仕様規定が便利でありますので、要求性能を満足することを証明された仕様規定を任意規定として整備する体系が考えられます。

表-2 性能規定化した基準の体系例
(ノルディック建築基準委員会(NKB Level System)より)

強制規格	レベル1	目的(目標性能)	建造物のあり方 (社会がわかる言語表現)
	レベル2	機能的要求	建造物が有すべき機能項目 (工学的指標での定性表現)
	レベル3	性能表現による 要求水準	機能要求項目ごとの目的 実現のための特定された要求 (定量表現の判断基準)
任意規格	レベル4	検証方法	性能要求水準への適合性を実証する ガイドライン(計量法、試験法等)
	レベル5	適合みなし規定	基準に適合するとみなせる手法に よる解の例(具体的仕様)

3 設計の基本

設計の基準に関して注目すべき基準にISO2394(建造物の信頼性に関する一般原則)があります。本基準は、従来、わが国にない基準であり、土木・建築、コンクリート・鋼・地盤を問わずすべての建造物設計の基本的な考え方を包括する基準です。このような基準体系の整備は、現在ISOよりもCEN(欧州標準化委員会)において精力的に進められています。図-1でいえば、コード0が「設計の基本」に当たります。

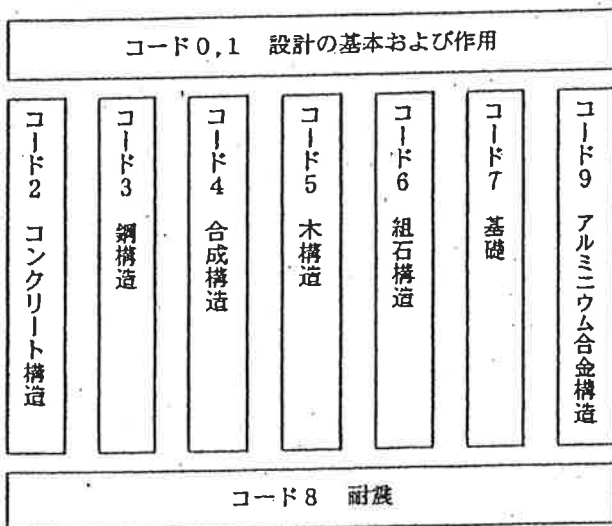


図-1 ユーロコードの全体体系

4 土木建築にかかる設計の基本検討

ISO 2394 もしくはコード0の特徴を簡単にい

えば、「限界状態設計」、「信頼性設計」、「性能設計」の概念を全面に導入して、建造物設計の基本的な考え方にかかわる事項を規定するものです。このような考え方は、わが国の多くの土木建造物の設計基準とは異なる状況となっています。一方、前述のCEN(欧州規格委員会)における検討は2003年にはほぼ全体が完了し、ISO原案として提案されるであろうともいわれています。

わが国はこのような設計に関する国際基準との整合化を求められる恐れがあります。しかしながら、既往の設計基準との比較や、わが国の技術的蓄積を踏まえての検討

が十分なされないなかで、「限界状態設計」等の概念を設計基準に急激に導入することは種々の混乱を招く恐れが高く、十分な検討が必要です。

このため、建設省では、学識者専門委員会としての「土木建築にかかる設計の基本検討委員会(共同委員長:長瀧重義新潟大学建設学科教授、岡田恒男芝浦工業大学建築工学科教授)」を平成11年1月に設置しました。本委員会では、設計の基本に関するISO標準および関係基準を踏まえ、土木建築の各分野における設計基準の差異を明確にし、その整合を図り統一化された考え方のもとに、わが国の「設計の基本」を作成することを目的に検討が進められています。その審議項目は、「限界状態の定義」、「作用と荷重」、「耐震」および「部分安全係数」です。

現在、いままでの議論を取りまとめて1次案を作成中です。本1次案は各界から幅広くご意見をうかがうために作成しているものであり、それらの意見を踏まえて、最終的にはわが国の建造物設計の基本となる技術標準につなげていきたいと考えています。

一方、平成12年9月に策定された公共工事コスト縮減対策に関する新行動指針では、基準類の性能規定化が重要な施策として位置づけられたところであり、道路橋示方書、河川砂防技術基準(案)についても性能規定化を具体的に進めることになっています。

性能規定発注方式による試行工事報告

建設省関東地方建設局東京国道工事事務所金杉橋出張所 技術係長 狩 生 正 彦
日本道路㈱ 現場代理人 (現在 東京支店城南営業所工事課長) 綿 引 直 志
世紀東急工業㈱東京支店 現場代理人 渡 辺 裕 貴

1. はじめに

関東地方建設局は、平成10年度に舗装工事において初めて性能規定発注方式による工事を2件試行しました。

従来の仕様規定方式では、発注者が使用材料や舗装構成等を設計図書に規定し、その仕様に基づき受注者が工事目的物を施工し発注者に納めていました。性能規定方式は設計図書に発注者が引渡しを受ける排水性舗装透水係数等の性能のみを規定し、材料、構造、施工方法等については受注者の提案を受けるといった方式です。仕様規定方式については、標準品の調達という観点からは有効です。しかし、これからの公共工事に求められる高品質の製品をより安価に調達するという点からは、新技術の活用が必要不可欠です。このようなことから、従来の発注方式はその性格上新技術等が十分に発揮しにくい状況といえます。

今般の試行工事においては、排水性舗装であることから耐流動性、透水性、平坦性、路面騒音値を規定しましたが、施工後の第三者機関による審査の結果、規定値を十分に満足する結果を得たところでありここに報告します。

2. 工事概要

「大森本町1丁目舗装修繕工事」

- ① 施工業者：日本道路㈱
- ② 工事箇所：一般国道15号
大田区大森本町1丁目地先
- ③ 工事内容：舗装修繕 L=378 m
- ④ 交通状況：66 339 台/日
大型車混入率 20.6 %

- ⑤ 工 期：平成11年3月10日～
平成11年11月29日

「八潮4丁目舗装修繕工事」

- ① 施工業者：世紀東急工業㈱
- ② 工事箇所：一般国道357号
品川区八潮4丁目地先
- ③ 工事内容：舗装修繕 L=950 m
- ④ 交通状況：37 023 台/日
大型車混入率 51.0 %
- ⑤ 工 期：平成11年3月29日～
平成12年2月26日

「大森本町舗装修繕工事の例」

(1) 工事着手前検討事項

性能規定発注では、施工者の責任において材料、工法が選択できますが、排水性能（現場透水量）が規定されており、基本的には排水性能での対応を提案しました。

1) 現場条件

本工事区間は延長378 m、4～5車線の片側幅員16 mの道路で、当該区間には大きな交差点が2箇所あります。交通量はD交通であり、近くにトラックターミナルがあるため、ローリー車等の大型車が左折、右折、Uターンする車両の非常に多い箇所です。さらに、幅員の比較的大きい取付道路のある交差点が2箇所あり、区間延長は長くても100 mと短い現場です。

交差点部分は性能規定から外されているものの、交差点前後での制動、加速の影響が大きく、右・左折、車線変更車両の多いところです。

以上、これらの現場条件を考慮して、舗装の耐流動性および据切り抵抗性にも配慮した混合物と舗装の構造を選定しました。

2) 混合物の選定

排水性舗装の騒音低減性能は、混合物の骨材最大粒径と施工厚さが影響するといわれています。一般的に、骨材最大粒径を小さくすると騒音低減効果は上がります。また、施工厚さが厚いほどその効果は上がりますが、騒音低減へのその影響は比較的小さく、施工厚さが4~5 cmの場合は差が少ないようです。騒音低減効果を重視するならば、骨材最大粒径を小さくすれば効果は大きいですが、混合物の性状は相対的に耐流動性が低下します。

以上の条件を考慮して、騒音低減効果と耐流動性・耐据切り抵抗性の両特性を満足する骨材最大粒径として10 mmを選択しました。

3) 舗装構造の検討

舗装の構造は、低騒音性、据切り抵抗性および現場における施工性を考慮して決定しました。特に、表層混合物の最大粒径が10 mmと小さいことによる耐流動性の低下が懸念され、このため表層厚さを4 cmとし、結果的には仕様書に示されている標準断面の基層6 cm+表層4 cmの構造としました。

(2) 排水性舗装の施工

1) 混合物の性状

表層に使用した混合物の目標粒度、および配合は表-1に示すとおりです。なお、プラント配合の最適アスファルト量については、室内最適配合の前後0.3%アスファルト量にて試験練りを実施

表-1 使用した混合物の性状

項目	配合試験結果		
	骨材粒土	フルイ目	13.2
		9.5	99.2
		4.75	20.6
		2.36	15.1
		0.6	12.9
		0.3	10.5
		0.15	6.5
		0.075	4.9
混合物 特 性	最適AS量 (%)	4.8	
	理論密度 (g/cm ³)	.484	
	密度 (g/cm ³)	.983	
	空隙率 (%)	20.2	
	連続空隙率 (%)	16.2	
	安定度 (kN)	66	
	フロー値 (1/100 cm)	28	
	残留安定度 (%)	99.7	
	動的安定度 (回/mm)	6300	
	カンタブロ試験	6.4	

し、施工性、仕上がりおよびマーシャル安定度、動的安定度試験等を実施して決定しました。

2) 品質管理

日施工量を多くして表層混合物を連続出荷することで、より品質の安定した混合物の供給を考えました。特に、品質管理面では混合物の温度管理を徹底して行いました。

排水性混合物は高粘度改質アスファルトを使用しており、低い温度での施工は仕上がりや耐久性に問題を生じやすいことから、現場での敷均し温度、初期転圧温度、転圧終了温度の管理は当然実施することに加え、表層施工時には現場とプラントの両方に専従の要員を配置して連絡し合い、連絡ミスによる手配の不手際が発生しないように、混合物の管理を徹底して行いました。

3) 施工管理

(イ) 施工ジョイントを極力少なくする

国道工事では、表層の縦断摺付けを極力避けなければならぬので、1日の施工で舗装幅員全幅を仕上げるのが要求されます。そこで、施工日数に応じた横断の施工ジョイントが発生し騒音値に悪い影響を及ぼさないように、2セットの舗装機械を用意してホットジョイントによる施工を行い、施工ジョイントの削減を行いました。日最大施工量は直線にして約160 m、2500 m²でした。その結果、1セットの舗装機械による施工では17日かかるところを10日で仕上げ、施工ジョイントの数を減らすことができました。

また、設計では性能規定区間外には通常の最大粒径13 mmの排水性混合物での施工になっていましたが、性能規定区間外と性能規定区間とのジョイントで材料の切替えをしていると連続した施工ができません。また、横断ジョイントができることなど、騒音低減には逆効果になることから、性能規定区間外の表層材にも最大粒径10 mmの提案した表層材に変更して、全線同一材料で施工しました。

(ロ) 路面の平坦性をよくする

施工ジョイントは舗装のスタート部分であるため、仕上がりが悪いとジョイントの口が開いたり、飛散の原因になったりします。また、余盛りを間違えると段差が生じ、騒音低減に悪い影響が

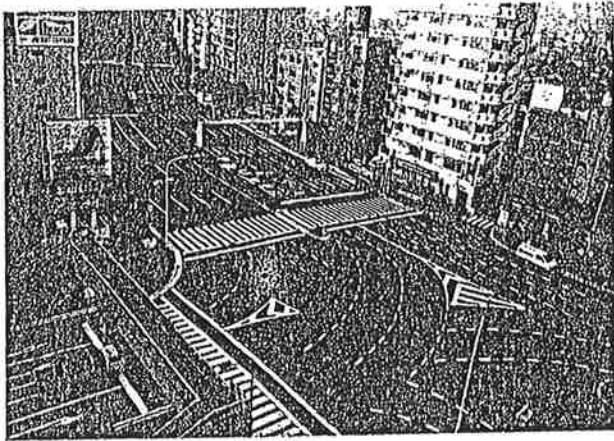


写真-1 大森本町1丁目舗装修繕工事完成状況

出ます。そこで、今回の施工ではジョイントの仕上げのための作業班を別途編成して行いました。これによって、ジョイントの仕上がりは平滑となり、一方アスファルトフィニッシャの敷均しもジョイントの仕上げにとらわれることなく施工できたため、連続した敷均しおよび転圧が可能となり、結果として平坦性を高めることができました(写真-1、表-2)。

表-2 排水性舗装の要求性能と測定結果

試験項目	要求性能	測定結果
耐流動性	4 000 回/mm 以上	6 300 回/mm (室内試験)
透水性	1 000 ml/15 sec 以上	1 212 ml
平坦性	各車線ごとに $\sigma=2.4$ mm 以内	平均 1.16 mm
騒音値	完成時 89 dB 以下	88 dB

〔八潮4丁目舗装修繕工事の例〕

(1) 工事着手前検討事項

1) 現場条件

本工事は、東京都品川区八潮に位置する片側2車線の国道357号(上り線)の打換工事です。通常の排水性舗装を施工する仕様規定区間と、舗装の性能が規定された性能規定区間に分割されています。本路線は近隣が物流倉庫地帯のため、大型車の交通量が非常に多い路線です。

このなかで排水性舗装の要求性能事項で路面騒音値について重要視し、下記の検討を行いました。

2) 混合物の選定

通常の最大粒径13mmの排水性混合物は、騒音値の要求性能に対する対応が困難であると思われます。

排水性舗装の騒音低減効果に影響を及ぼす要因としては、①空隙率、②骨材粒径、③舗装厚が考えられます。それぞれの要因における、騒音低減効果の違いは、以下に示すとおりとされています。

- ① 空隙率：空隙率が20%以上確保されていれば空隙率の違いによる影響は小さい。
- ② 骨材粒径：骨材粒径が小さいほど騒音低減量は大きい。
- ③ 舗装厚：舗装厚(3~8cm)の違いによる騒音低減量に差は見られない。

以上のことから、空隙率を20%以上とし、骨材の最大粒径を可能な限り小さくすることとしました。

しかしながら、最大粒径5mmの場合には、耐流動性がかなり低下することが予想され、供用後のわだち掘れ発生が懸念されるため、ここでは最大粒径8mmを選定しました。

3) 舗装構造の検討

また、表層部の対流動性を高めることを目的に、騒音低減効果を期待した最大粒径8mmの小粒径排水性混合物を上層部に、対流動性を期待した最大粒径13mmの排水性混合物を下層部にして、同時施工する二層構造の排水性舗装を採用しました。舗装厚は、骨材の最大粒径や施工性を考慮して、上層部、下層部それぞれ20mm、30mm、合計50mmとしました。

性能規定区間の採用舗装構造

表層	排水性混合物(8)	t=2cm
〃	〃 (13)	t=3cm
基層	改質粗粒A ₁	t=5cm
〃	大粒径A ₁	t=35cm
路盤	既設路盤	

打換深さ 45 cm

(2) 排水性舗装の施工

排水性舗装は、上記の舗装構造のため上層部、下層部に、それぞれ異なった種類の混合物を二層同時に敷き均すことのできるマルチアスファルト

ペーパ (MAP) を使用しました。このペーパは、一つのチャージングホッパと二つのホッパ (上層用と下層用) を備えており、上層用および下層用にそれぞれ異なる種類の混合物をチャージングホッパに荷下ろししなければなりません。この二種類の混合物は、使用比率が異なり、また、品質確保のためそれぞれ別々のプラントからの出荷であったため、運搬車の台数や時間等を調整して連続的な施工を確保するのに最も苦慮しました (写真-2)。

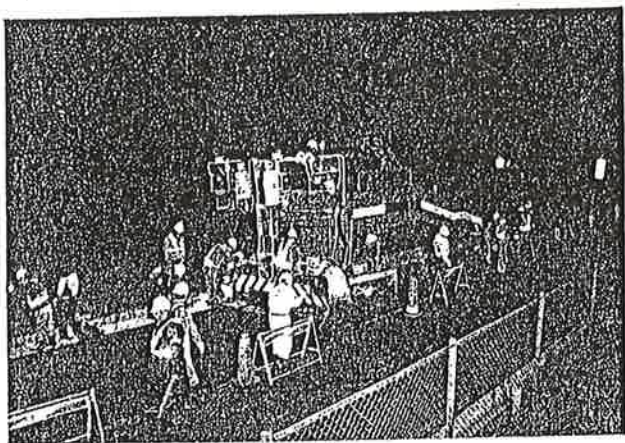


写真-2 八潮4丁目舗装修繕工事 MAP 工法施工状況

また、施工時期が11月の夜間工事であり、特に混合物の温度低下に注意しました。またMAPの構造は通常のフィニッシャと比較しチャージングホッパからスクリードに至るまでの混合物の移送経路が長く、混合物の温度低下が通常のフィニッシャより大きくなる場合があります。また、温度低下の影響を受けやすい排水性混合物を使用するため、施工直前に各ホッパ内を予備加熱して温度低下をできるだけ抑え、その結果99%以上の締固め度を確保することができました。

また、施工時間に余裕を持たせ、養生時間を多く取れるように各工程間の時間のロスをできるだけなくすのを目標に、事前の施工打合せは特に入

念に実施しました。

施工の結果としては、排水性舗装の要求性能をすべて満足することができました。特に最も気がかりであった騒音値については、完成時における基準値89 dBを2 dB下回る87 dBと良好な結果が得られました (表-3)。

表-3 排水性舗装の要求性能と測定結果

試験項目	要求性能	測定結果
耐流動性	4 000 回/mm 以上	7 000 回/mm (室内試験)
透水性	1 000 ml/15 sec 以上	1 183 ml
平坦性	各車線ごとに $\sigma=2.4$ mm 以内	平均 1.41 mm
騒音値	完成時 89 dB 以下	87 dB

3. おわりに

今回の性能規定工事を振り返ってみると、材料、構造提案、施工等のすべてにわたりそれに従事する者の創意工夫、品質確保に対する思い入れ、士気の高揚が感じられたことはなによりの収穫でした。受注者の厳格な品質管理および積極的な新技術の活用への取組みにより、発注者の求めた性能規定値を満足する結果を得たところです。

規定値を満たすために新技術のみで条件を達成したとは思えません。敷均し、締固め、施工目地 (継目) など、既存の文献にも明示されているような施工時の基本的な事項を適確に行っていたことも条件達成の大きな要因であると思料します。

最後に、この性能規定発注方式の試行工事が、今後の公共工事の品質向上およびコスト縮減等に大いに寄与することを願い報告とします。

性能照査型設計の潮流と水門鉄管技術基準

(財) 電力中央研究所
中村秀治

目 次

1. 「性能照査型設計」とは何か
 - 1.1 性能照査型設計 (Performance-based Design) の定義
 - 1.2 性能照査型設計の利点
 - 1.3 性能照査型設計の手順
 - 1.4 従来の仕様規定型設計と性能照査型設計の比較
 - 1.5 性能照査型設計の生い立ち
 - 1.6 ISO と Eurocode, BS, DIN, ASME B & PV Code
 - 1.7 WTO/TBT 協定
 - 1.8 性能照査型設計基準の備えるべき条件
 - 1.9 性能照査型設計の各分野における浸透状況
 - 1.10 性能照査型設計に向けた分野
2. 性能照査型設計に関する事例
 - 2.1 問題点の指摘
 - 2.2 土木学会, 原子力土木委員会「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震設計に関する安全性照査マニュアル」
 - 2.3 土木学会: LNG 地下タンク躯体の構造性能照査指針, 1999, 12
3. 水門鉄管技術基準について言えば
 - 3.1 ダム・堰施設技術基準(案)の平成 11 年度版について
 - 3.2 性能照査型に書き改める場合
 - 3.3 性能照査型に書き改めた場合の目次例
4. 意見と結び
 - 4.1 水門・鉄管の構造特性を再確認した上で, 要求性能, 目標性能の設定を早期に検討されたい
 - 4.2 発注者と受注者の努力で設計合理化を図るとしても, 既往の力学規定に代わる性能照査は慎重に
 - 4.3 荷重の設定, 設計評価式と許容応力度等は常にペアで検討すべきもの
 - 4.4 保安上, 必要最小限を定めた法令が性能規定化されるならば, なお更, 設計者には優れた技術的拠り所が必要です

1. 「性能照査型設計」とは何か

1.1 性能照査型設計（Performance-based Design）の定義

構造物を一つの物品とすれば、技術者にはその品質・性能を保証し、そのことを公平さと透明さをもって、明確に説明する責任がある（Accountability）。

これを構造物の設計にあてはめると、性能設計とは次のように定義できる。

「**構造物に対する要求性能を明らかにし、設定した材料・構造・工法によって実現される性能が、要求性能を満足することを直接的に確認（照査）する設計。**」

従来の、計算法など技術的内容は学会・民間基準で、荷重と許容応力度の数値は法令で定めるという従来の単純な図式は、通用しなくなりつつあることに注意されたい。

後述するように、**ISOによる構造信頼性の考え方は、もはや荷重や許容応力度を個別に設定するのではなく、要求性能に基づいて決める枠組みが一般的**になっており、WTO/TBT協定によりその遵守が義務付けられるようになります。

規制緩和は自己責任と対で達成されるものであり、学会・民間基準は具体的な計算法などを示し、**法令は安全性のグレードのみを最低基準として与える**ことになると思われます。（この認識が、現在、性能規定化と称して法改正している側に欠けているように思われます。）

1.2 性能照査型設計の利点

従来からの仕様規定型設計は、記述が具体的で誰もが理解でき、審査が容易という利点を有し、大量生産に適したものとも言える。性能照査型設計を導入することの利点として、これまで広く言われていることを整理すると、次の通りである。

- ①設計の自由度を大きくすることができる。
- ②大きな設計枠組みの中で、技術の発展レベルに応じた合理的な設計を可能にする。
- ③新しい技術の適用を容易にする。
- ④構造設計と耐久性設計などを同じ概念で統一的に扱う統合設計が可能になる。
- ⑤コストダウンを可能にする。

将来的には、基本的に性能規定があって、その下位に位置し性能規定に適合した仕様規定型の基準類があるといった体系に移行すると考えられている。

しかしながら、現実問題として、性能規定化とそれに沿った構造設計が、もくろみ通りに行なわれるには、設計者・施工者の資質とモラルに依存するところが大きく、また性能照査（Verification）は極めて難しいのが実状です。

1.3 性能照査型設計の手順

具体的な性能設計の手順は次のように考えられる。

- ①発注者（所有者）は構造物の要求性能を i) ~ vi) のような観点から明らかにする。
 i) 社会・環境性, ii) 安全性（耐震性, 耐風性, 等）, iii) 使用性,
 iv) 施工性, v) 復旧性, vi) 維持・管理性
- ②発注者（所有者）側の設計担当者と施工者（受注者）側の設計担当者は、共同で要求性能に見合う目標性能（工学的表現）を定める。
- ③目標性能を実現するための設計を行なう。
- ④構造物の保有性能を示す。

1.4 従来の仕様規定型設計と性能照査型設計の比較

	従来の仕様規定による設計	性能照査型設計
目標性能	性能という言葉では明示しないが、設計荷重、設計条件などの指定を行なってきた	性能という言葉で明確化
性能実現の方法 使用材料、計算方法など	示された仕様に従う	自由選択（自己責任）あるいは性能適合とみなせる仕様（みなし仕様）による
性能の確認	間接的（仕様を満足することで代替）	性能照査による直接的確認 ただし、これがすべて可能かどうか疑問。 （例）耐久性能（維持管理の問題）
特徴	設計の自由度は少ない （材料設計、施工指針など） 手法は比較的簡単	新知見、新技術の反映と個別条件への対応が容易。 自己責任で最適設計追求が容易

性能設計における構造物の発注者、管理者の責任の増大

- ・ 性能を設定し照査する責任者の判断力は、「仕様明示型設計基準」より格段に重要になる。（高い資質とモラルが求められる。）
- ・ 設計段階において、個々の判断内容を具体的に明示する必要があります。

性能設計における設計者の自由度の増大

- ・ 要求性能を満たすための検討方法は、原則として設計者の自由裁量の範囲となる。従って、設計者は性能照査型設計の基本的考えを理解した上で、適切な評価手法（実験を含む）を選択することができる。選択した評価（照査）手法で、構造物の構造形態、運用条件、設置環境、管理条件などに応じて、所要の性能を実現するようにする。

1.5 性能照査型設計の生い立ち

性能設計のそもそもの始まりはヨーロッパ統合にある。1980年頃からと思われるが、ヨーロッパ各国を統合するには、あらゆるシステムの整合性が求められ、建設業においても、基準・指針類の統一化の努力がなされてきた。しかし、誰が何時、性能設計を提唱したという個人名の話はまったく出てこない。

各国バラバラの基準が貿易上の非関税障壁となり、技術の進歩を妨げているという状況認識の下、ISO（国際標準化機構、International Organization for Standardization、但し、ISOはギリシャ語のisosが語源）の基本的考えは性能照査型となり、WTO/TBT協定(1995.1)の発効とともに、強制力を伴うものになってきた。

日本で、はじめて明確に性能設計基準を唱ったのは、土木学会原子力土木委員会「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震設計に関する安全性照査マニュアル」（1992年9月）であるという。しかし、見方によっては、日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針」JEAC 4601-1970は、はるか以前から性能設計そのものである。対象地点の固有の条件に応じて、最新の技術的知見に基づき、合理的な設計を効率的に実現させる必要に迫られ結果である。

1.6 ISOとEurocode, BS, DIN, ASME B & PV Code

CEN（欧州標準化委員会、European Committee for Standardization）が策定しており、EN（欧州規格、European Standards）にしようとしているEurocodeは、ISO規格の予備軍と言える。現在、下記のような構成になっている。

- Eurocode 1: Basis of design and actions on structures
- Eurocode 2: Design of concrete structures
- Eurocode 3: Design of steel structures
- Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures
- Eurocode 5: Design of timber structures
- Eurocode 6: Design of masonry structures
- Eurocode 7: Geotechnical design
- Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance
- Eurocode 9: Aluminium structures

一方、ISOは1947年に発足非政府組織であるが、その歴史は1928年機械工学分野を中心に設立された万国規格統一協会(ISA)まで遡ることができる。現在、128ヶ国が加盟しているが、実際は30足らずの先進国のみで活動しており、その内、ヨーロッパが19ヶ国を占めている。このヨーロッパのメンバーとCENのメンバーは殆ど同じであり、CENで検討されているものは、ISOで検討しないことになっている。米国は、ヨーロッパの国際標準化を手段とした国際競争力強化戦略に対して、多数の専門委員会の幹事国となって、ISOの主導権の獲得に努めている。

BS（英国規格，British Standards）を制定しているのが BSI(British Standards Institution)であり，英国の規格を発行する唯一の機関である。英国規格の歴史は 100 年程度遡ることができるが，BSI は ISO の設立以来，中心的な役割を担ってきている。周知の通り，ISO9000 シリーズは BS5750 が採択されたものである。

DIN（ドイツ規格協会，Deutsches Institut für Normung）の歴史も古く，1918 年頃まで遡ることができる。ドイツ政府が支援する形で発展した DIN の定めるドイツ規格は，1990 年に旧東ドイツの国家規格を併合したが，その後の多くは国内規格の整備よりも欧州と世界の標準化に費やされている。

一方，米国の ASME(The American Society of Mechanical Engineers)は機械工学分野における活動内容等において，いわゆる学会活動以外にも，規格化，事業者認定など幅広い活動をしており，規格化についても独自路線の感がある。代表的な規格は Boiler and Pressure Vessel Code Section I～XI であり，我が国の通産省告示 501 号は ASME Section III そのものである。国際化の観点で言えば，ISO での主導権を獲得すべく戦略的に重要な分野で幹事国となって活動している。

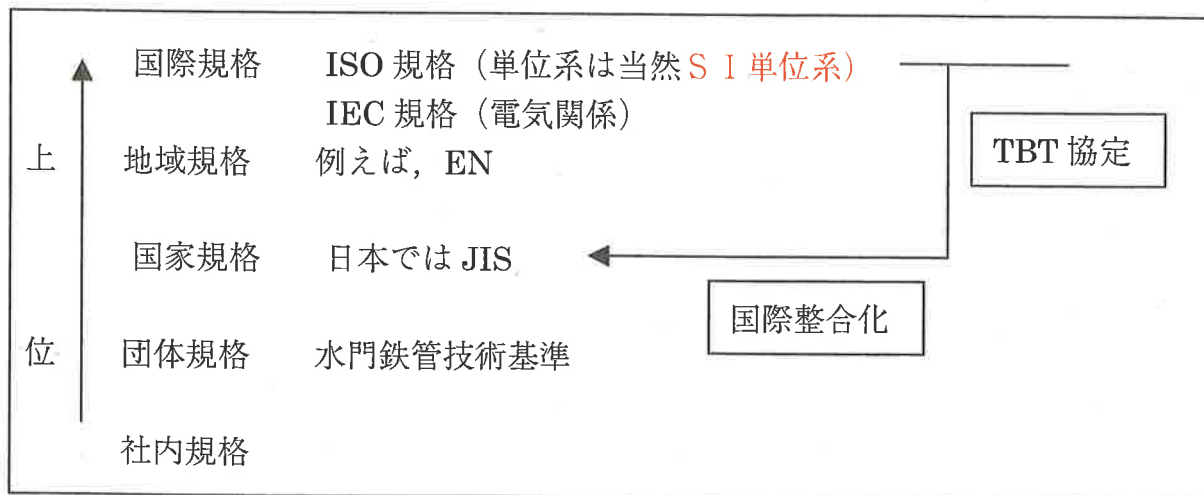
1.7 WTO/TBT 協定

WTO(世界貿易機関，World Trade Organization)の協定の一部として合意された TBT(貿易の技術的障害に関する協定，Technical Barriers to Trade)協定(1995.1)は，

「政府機関が技術的規制をする場合は，ISO が制定した国際規格を尊重する責任と義務を負うことを合意。」

している。

性能規定化は，この TBT 協定の中でも求められている基準整備の方向であり，否応無く遵守させられる。



1.8 性能照査型設計基準の備えるべき条件

性能照査型設計基準の備える条件：要求性能＋目標性能＋性能照査方法が1セット
詳細な評価式，図表等は参考資料として添付

- (1) **要求性能**（法定の基準の条文になりやすいが，これだけでは設計はできない。）
構造物の用途，設置される周辺環境および運用条件から，発注者・管理責任者が求める性能。発注者・管理責任者が一般的表現で記述する。
- (2) **目標性能**（設計できるように要求性能を工学的表現に翻訳したもの。）
要求性能を満足させるために，構造物の設計で実現しようとする性能。設計者（発注者側と受注者側の両者）が工学的表現で記述する。
- (3) **性能照査**
設定した条件（形状，寸法，使用する材料の特性など）における構造物が，所定の目標性能を有することを確認する。

例えば，Eurocode 3: Design of steel structures Part 2: Steel bridges は，次のようになっている。（ISO規格の予備軍であるため，参考になる。）

①構成

1. 総則
2. 設計の基本
3. 材料
4. 使用限界状態， 5. 終局限界状態
6. 接合，連結，溶接
7. 製作と架設
8. 試験に基づく設計， 9. 疲労

②適用範囲

鋼橋と合成橋梁の鋼構造部分。設計寿命は100年を想定。

③設計法

基本的に限界状態設計法を採用。以下の項目のチェック。

- i) 使用限界状態：弾性挙動の保証，たわみと曲率の制限，振動数の制限，最小板厚の制限，耐久性の確保，維持管理の容易さ。
- ii) 終局限界状態：断面・部材・連結部の破壊，全体座屈，剛体安定，疲労破壊

④安全性照査

設計作用値 ≤ 設計抵抗値

⑤解析方法

- i) 使用限界状態：線形弾性解析のみ
- ii) 終局限界状態：弾性全体解析，弾塑性全体解析

⑥荷重

発注者の指示に従うようにのみ規定。

・許容応力度
・計算式
・荷重
など一切規定
されていない。

1.9 性能照査型設計の各分野における浸透状況

日本における各分野毎の、性能設計に関する関心の度合いを示す指標の一つとして、この1年間の学協会誌に数ページの性能設計およびISO関連の記事が掲載された件数を調べてみた。

	性能設計関連の記事	ISO9000 関連の記事
土木学会誌	5件 耐震設計, コンクリート	2件
建築学会誌	6件 建築構造, 建築基準法	0件
機械学会誌	0件	3件 リスクマネジメント
原子力学会誌	0件	2件 標準(規準)の世界動向
人工知能学会誌	0件 ネットワークの性能	0件 ソフトウェアの管理
水門鉄管	0件	0件 平成6,7年に国際標準化状況紹介
電力土木	0件	0件
大ダム	0件	0件

性能設計に関する各方面の状況

- ・土木 →耐震設計, コンクリートの配合, 施工に関しては関心が高い。
鋼構造は照査方法などを模索中。
- ・建築 →**建築基準法, 同施行令, 告示の改訂に関連して関心が高い。**
改訂された建築基準法に対して, 課題が指摘されている。
- ・機械 →殆ど動きはない。
本来, メーカーが工場で大量生産した製品に関しては, 使用者は製品を見て, 性能確認して購入できるわけで, 性能設計の入る余地はない。
- ・船舶 →殆ど動きはない
- ・電気電子→殆ど動きはない
- ・原子力 →以前から, 耐震設計には性能設計の考え方が用いられていた。
特に新たな動きはない

1.10 性能照査型設計に向けた分野

すでに性能照査型設計が取り入れられているのは、

- ・耐震設計
- ・コンクリートの材料設計，配合設計
- ・現場溶接
- ・施工指針

など，発注者よりは施工業者の方がよく知っているもの，ちょっとした工夫で安くできるもの。（鋼構造物の場合，耐久性などはむしろ保守の問題）

性能照査型設計に適するかどうかの判断

	性能照査型設計に不向き	性能照査型設計に適する
荷重条件	熱、自重、機械的力	地震、台風、洪水などの自然災害
材料の物性値	鋼	コンクリート 地盤
製造方法、施工方法	工場で製造 大量生産	現場施工 製品を購入するようなものではなく、注文で一品ずつ生産、社会的影響の大きいもの

2. 性能照査型設計に関する事例

2.1 問題点の指摘

イギリスの建築基準は、10年以上前に性能規定に改訂されており、その本体は Part I～Vのわずか20項目に過ぎない。これに別表1に示された合計35の条件が記述されているだけである。ただし、この下に、「承認基準」が設けられている。

「承認基準」は設計者に対して設計上の拠り所を詳細に定めたマニュアルで、グラフ、表、図を多用して、具体的に記述されている。この「承認基準」に則って設計したものは要求性能を満足していると思なされるが、他の方法で要求性能を満足させてもよく、自由度は大きい。

日本では、法令が性能規定化と称して改訂される中、学会基準・民間基準のあり方が本音で議論されるべき時期にあると思われる。

従来は、荷重と許容応力度は法令で定め、詳細な計算式などの技術的内容は学会基準・民間基準で定められ、安全性が確保されてきた。「最低限守るべき事項＝目標性能」という枠組みの中では、何ら問題なく受け入れられる暗黙の了解事項であった。

国際基準であるISOの考え方は、荷重や許容応力度を個別に設定するのではなく、要求性能に基づいて決める枠組みが一般的である。従って、法令では安全性等のグレードのみを最低限守るべき事項として定め、学会基準・民間基準は具体的な設計計算法などを示し、それをどのように活用するかは発注者と受注者の自己責任ということなのである。依然として、多くの人が「最低限守るべき事項＝目標性能」と認識している所に、混乱のもとがあり、質的に、「最低限守るべき事項≠目標性能」であることを強く認識する必要がある。

法令が性能規定化される中で、既往の学会基準・民間規準を眺めてみると、2つのパターンがあるように思われる。

①自ら性能照査型の形を取っているもの。

- ・種々の構造物の耐震設計基準（JRの鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計）、道路橋、地下構造物、など）
- ・コンクリートの配合設計
- ・コンクリートの施工指針

②性能規定化された法令を補完し、実務者の技術的拠り所となるもの。

- ・電気事業法
電気設備に関する記述規準を定める省令
電気設備の技術基準の解釈



日本電気協会：架空送電規定（JEAC6001-2000）

2. 2 土木学会、原子力土木委員会「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震設計に関する安全性照査マニュアル」

本マニュアルは性能照査型設計の先駆けとコンクリート関係者は言っているので、以下にその目次を示す。

目 次

- 1 章 総則
 - 1.1 適用の範囲
 - 1.2 マニュアルの特徴
 - 1.3 用語の定義
- 2 章 安全性照査の考え方
 - 2.1 一 般
 - 2.2 要求性能と照査用限界状態
- 3 章 材料
 - 3.1 一 般
 - 3.2 コンクリートの材料特性
 - 3.3 鋼材
 - 3.4 地盤特性
- 4 章 荷重
 - 4.1 一 般
 - 4.2 荷重の組合せ
 - 4.3 荷重の特性値
- 5 章 地震荷重の算定・構造解析
 - 5.1 一 般
 - 5.2 地震荷重の算定手法
 - 5.3 構造物の非線形性の考慮手法
 - 5.4 構造解析に当たっての留意事項
- 6 章 S 2 地震時に対する照査
 - 6.1 一 般
 - 6.2 荷重の組合せおよび荷重係数，荷重修正係数
 - 6.3 曲げモーメントおよび軸方向力に対する安全性の照査
 - 6.4 せん断に対する安全性の照査
- 7 章 S 1 地震時に対する照査
 - 7.1 一 般
 - 7.2 荷重の組合せおよび荷重係数，荷重修正係数
 - 7.3 曲げモーメントおよび軸方向力に対する安全性の照査
 - 7.4 せん断に対する安全性の照査

- 8章 常時に対する照査
 - 7.1 一般
 - 7.2 常時（耐力裕度）に対する照査
 - 7.3 常時（耐久性）に対する照査
- 9章 構造細目

2.3 土木学会：LNG地下タンク躯体の構造性能照査指針，1999，12

同様に，性能照査型設計指針といわれる「土木学会：LNG地下タンク躯体の構造性能照査指針」の目次を示す。

目次

- 1章 総則
 - 1.1 適用の範囲
 - 1.2 用語の説明
- 2章 LNG地下タンク躯体の構造性能
 - 2.1 一般
 - 2.2 構造性能
 - 2.3 常時性能（通常運用時に必要とする性能）
 - 2.4 耐震性能
- 3章 荷重
 - 3.1 一般
 - 3.2 常時荷重
 - 3.3 地震動の設定
 - 3.4 地震の影響
- 4章 解析手法
 - 4.1 一般
 - 4.2 常時性能照査に用いる解析手法
 - 4.3 耐震性能照査に用いる解析手法
- 5章 性能照査方法
 - 5.1 一般
 - 5.2 照査項目とその限界値
 - 5.3 安全係数
- 資料編 1．地震動・荷重の設定に関する検討
- 資料編 2．解析手法に関する検討
- 資料編 3．指針作成にあたっての検討内容
- 資料編 4．照査例

3. 水門鉄管技術基準について言えば

3.1 ダム・堰施設技術基準(案)の平成11年度版について

ダム・堰施設技術基準(案)の平成6年度版に続いて、同11年度版が刊行されている。改訂のねらいは、「性能照査型技術基準への変革をめざして、基準として規定すべき基本的な部分と、関係者をフォローするためのマニュアル部分に分離して整理し、基準部分に求められる性能項目とレベルを示すことである。」としている。

改訂されたダム・堰施設技術基準(案)の条文は、建設省のダム堰技術基準そのものであり、マニュアル部分は(社)ダム・堰施設技術協会が定めた技術基準となっている。

性能規定化された法令(ダム堰技術基準)を補完し、実務者の技術的拠り所となるものとして作られています。が、整合を図るべき国際基準 ISO の考えとは、かなり相違していると言わざるをえません。性能照査型技術基準に書き換えたと言うのであれば、まず、許容応力度を本文あるいは本文の解説に入れるべきではないと思われま

す。許容応力度と設計計算手法(性能照査方法)および安全率はペアであり、基本的に線形解析が前提となります。限界状態に関する知見や非線形解析手法は一切入ることができなくなり、性能照査型設計の基本的考えに逆行することになります。本文、解説の一部を[例示仕様]、[参考]としただけでは、根本的に仕様規定型と何ら変わりなく、発注者と受注者の創意・工夫で構造設計の合理化を目指すという性能照査型設計の基本思想を再確認すべきと思われま

す。「誰もが守るべき最低限の事項(法令)」と、性能設計で言う「要求性能」は本質的に違うものであることを認識すべきです。

3.2 水門鉄管技術基準を性能照査型に書き改める場合

水門鉄管技術基準は「電気事業法 → 発電用水力設備に関する技術基準 → 解釈」で引用されています。法令が性能規定であり、水門鉄管技術基準は性能照査に相当する「承認基準」と位置付けるのであれば、その旨を巻頭に書き加えるだけでよく、性能規定化に合わせて、特に急いで全面改訂する必要はないと思われま

す。もし、水門鉄管技術基準を書き改めるのであれば、WTO/TBT協定の精神に則り、国際規格 ISO > 地域規格 > 国家規格 > 団体規格である以上、ISO規格となる可能性の高い Eurocode 3: Design of steel structures は参考になると思われる。(1.8 性能照査型設計基準の備えるべき条件参照)

3.2 性能照査型に書き改めた場合の目次例

完結した性能照査型基準に書き改めるのであれば、水門扉編だけで 200 条に及ぶ従来の基準の大部分は、参考資料にまわすことになると思われます。以下は、例えばということですので、深く詮索せずにご覧下さい。

第 1 節 総則

1.1 目的

この基準は、発電用・農業用・港湾等の水門扉及びこれらに関連する設備の性能の設定と照査について示し、機能維持と安全確保を図ることを目的とする。

1.2 適用範囲

この基準は、発電用・農業用・港湾等の水門扉、放流管、取水塔、スクリーン及び付属設備に適用する。

1.3 定義

6. 要求性能とは、水門扉の用途、設置される周辺環境および運用条件から、所有者・管理責任者が求める性能であり、

- ①社会・環境性
- ②安全性（耐震性，耐風性，等）
- ③使用性
- ④施工性
- ⑤復旧性
- ⑥維持・管理性

などの用語を用いて、一般的表現で記述したものを言う。

7. 目標性能とは、要求性能を満足させるために、扉体の設計で実現しようとする性能であり、設計者（所有者側と受注者側の両者）が工学的表現で記述したものを言う。

8. 性能照査とは、扉体構造が所定の目標性能を有することを確認することを言う。

1.4 水門扉の形式選定

第 2 節 水門扉の構造性能

2.1 一般事項

2.2 構造性能

- (1) 水門扉は要求性能を満足するために必要な構造性能を保有するものとする。
- (2) 水門扉の構造性能は、耐荷性能、変形性能、止水性能と操作性能として設定する。

2.3 常時性能

通常運用時における水門扉の構造性能は、通常運用時における要求性能を満足できるように、耐荷性能、変形性能、止水性能、操作性能を有し、供用期間における経年劣化に対しても大規模な補修をしないで使用できるものとして設定する。

2.4 地震時性能

水門扉が地震に対して保有すべき性能は、地震時および地震後の水門扉の安全性と使用性に関する要求性能を満足できるように設定する。

第3節 荷重

荷重は、発注者の指示に従って設定するものとする。

第4節 設計解析手法

4.1 一般事項

4.2 常時性能照査に用いる設計解析手法

常時性能の照査では、水門扉各部の応力あるいは変位を解析する手法として、以下のような手法がありえる。的確に照査可能であれば、基本的に設計者の判断でどのような手法を用いてもよい。

- ①主桁毎に微小変形を仮定した梁理論式で解く。他の補助部材は別途評価する。
- ②有限要素解析で全体構造を線形解析し、作用荷重に対する発生応力・変位を算定する。
- ③有限要素解析で全体構造を非線形解析し、作用荷重に対する発生応力・変位の他に、限界耐力と変位、破壊モードまで算定する。
- ④その他の手法。例えば、解析によらず、実物破壊試験のような方法で、耐荷力特性を明らかにする。

4.3 地震時性能照査に用いる設計解析手法

第5節 性能照査方法

5.1 一般事項

5.2 照査項目とその限界値

5.3 常時性能に対する照査

5.4 地震時性能に対する照査

5.5 安全係数

参考資料

A. 設計総論

第1 設計一般

- A.1 基本条件
- A.2 応力度等の照査
- A.3 開閉速度
- A.4 揚程
- A.5 使用材料
- A.6 摩擦係数
- A.7 機械効率

第2 許容応力度・安全率・許容たわみ度

- A.8 材料の許容応力度
- A.9 許容応力度の補正
- A.10 許容応力度の割増し
- A.11 許容面圧
- A.12 開閉装置用材料の安全率
- A.13 許容たわみ度

第3 部材に関する事項

- A.14 余裕厚
- A.15 最小板厚及び細長比
- A.16 プレートガーダー
- A.17 圧縮力を受ける部材
- A.18 軸方向力と曲げモーメントを受ける部材
- A.19 スキンプレート

第4 接合

- A.20 接合一般
- A.21 溶接継手の応力度

第5 扉体・戸当り・固定部

- A.22 扉体の形式・構造
- A.23 戸当り・固定部の形状・構造
- A.24 支承部の形式・構造
- A.25 水密部の形式・構造

第6 開閉装置

- A.26 形式の選定
- A.27 動力設備
- A.28 予備動力設備
- A.29 保護装置及び付属装置
- A.30 減速装置

位置付け

設計者が性能照査方法を模索する時、「これに従えば性能照査したことになる。」という資料

- A.31 原動機
- A.32 制動機構
- A.33 非常用閉鎖装置
- A.34 ワイヤロープ
- A.35 ドラム及びシーブ
- A.36 歯車
- A.37 油圧ユニット及び油圧ポンプ
- A.38 油圧シリンダ
- A.39 油圧配管
- A.40 作動油
- A.41 スピンドル及びラック
- A.42 操作盤
- A.43 機械台

B. 設計各論

第1 ローラーゲート

- B.1 適用範囲
- B.2 扉体の形状・構造
- B.3 主桁
- B.4 補助桁
- B.5 端縦桁
- B.6 主ローラー
- B.7 補助ローラー
- B.8 戸当り
- B.9 開閉装置
- B.10 振動に対する考慮

第2 シェルローラーゲート

.....
.....

C. 施工

第1 一般

- C.1 適用範囲

第2 製作

- C.2 一般
- C.3 加工
- C.4 組立て
- C.5 溶接・ボルト・高力ボルト及びリベット接合

第3 防食

- C.6 防食一般

- C.7 塗装設計
- C.8 塗装施工
- C.9 塗装の施工管理と記録
- C.10 溶融亜鉛めっき及び金属溶射
- C.11 耐候性鋼・耐海水性鋼
- C.12 ステンレス鋼
- C.13 電気防食

第4 輸送及び据付け

- C.14 一般
- C.15 輸送
- C.16 据付工法の種類と選定
- C.17 仮設備
- C.18 洪水等に対する配慮
- C.19 扉体・戸当り・固定部及び開閉装置の据付け
- C.20 試運転・調整

第5 検査

- C.21 検査

D. 保守管理

- D.1 一般
- D.2 扉体・戸当り
- D.3 支承部
- D.4 開閉装置
- D.5 予備動力設備の整備
- D.6 補修又は取替え
- D.7 塗膜の管理と塗替塗装

E. 安全衛生

- E.1 安全衛生

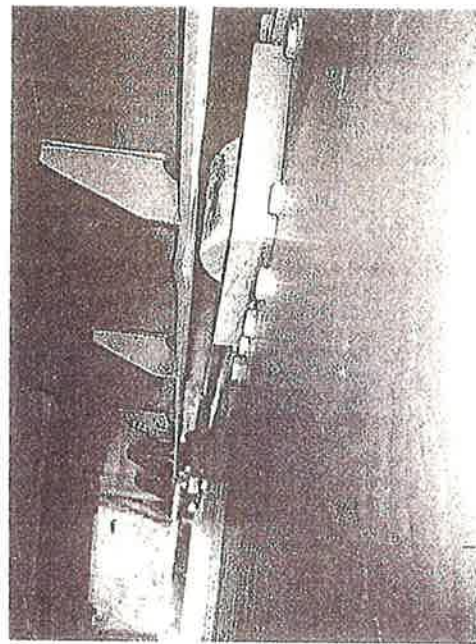
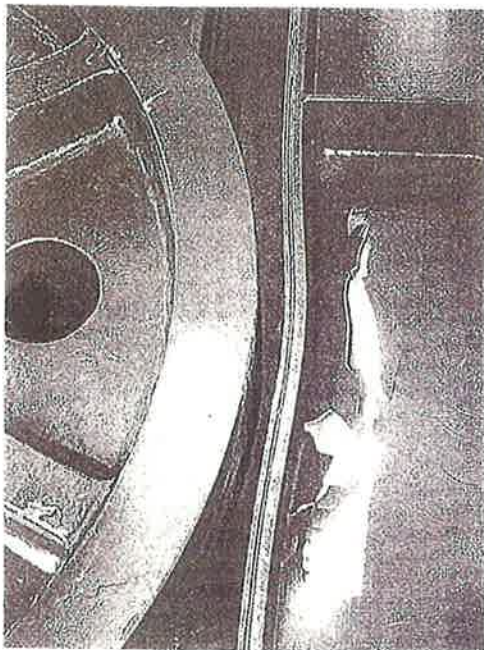
4. 意見と結び

4.1 水門・鉄管の構造特性を再確認した上で、要求性能、目標性能の設定を早期に検討されたい。

阪神淡路大震災における被害調査結果からも明らかなように、中下流の堰（写真）まで含めて、水門については、水平震度 0.1~0.24、許容応力の割増 1.5 を考慮した設計で、鋼構造の耐震性はかなり高いことが確認されている。問題はむしろコンクリート部分の沈下、移動、傾斜等なので下部工の設計についての考慮こそ必要である。鉄管についての既往の地震被害は、リングガード支持部の移動などが見られる程度である。鳥取西部地震においては、震源近くにあった水圧鉄管で 1 G 近くの最大加速度に対しても、管軸方向の 50cm 程度の下方移動が見られた程度であった。

一方、水門・鉄管は高い水密性、操作性、耐久性などが求められ、溶接施工などの重要性の高い構造物である。

したがって、水門・鉄管に特有の条件に合った要求性能を、早期に詳細に議論し、設定する必要があると思われます。



加古川大堰におけるローラー支持部の変形
(土木学会：阪神淡路大震災調査報告書より)

4.2 発注者と受注者の努力で設計合理化を図るとしても、既往の力学規定に代わる性能照査は慎重に。

鋼構造の規準改訂にあたって委員会でいかに慎重な審議が重ねられてきたか周知の通りです。その結果が不経済設計を生んでいると言うのなら致し方ないが、発注者と受注者の努力で設計合理化、健全性向上、コストダウンが図れるほど、鋼構造の設計は安易ではないと思われます。かつて多くの災害事例を経験し、貴重な経験の上に定められた従来の力学規定については、その代替などを個人の裁量に委ねてはいけません。特に座屈規定などを無視するのは非常に危険です。

4.3 荷重の設定、設計評価式と許容応力度等は常にペアで検討すべきもの

作用荷重、許容応力度と安全率（荷重係数）、および設計評価式はペアで検討され、設定されてきています。従って、評価式だけ変えて、照査には従来の数値や安全率を適用するのは、慎重に考慮した後にすべきです。

性能照査となれば、必ず限界状態が問題になりますが、非線形解析が必要になります。作用荷重の大きさと作用パターン、解析方法、照査基準などは一体のものですから、その組み合わせを間違えると、危険です。

・線形解析（設計式，FEM） （微小変形を仮定し，材料物性値は一定で，外力と変位は線形関係にある）	⇔	許容応力度設計
・非線形静的解析（FEM）	⇔	静的限界状態設計
・非線形動的解析（FEM）	⇔	動的限界状態設計

4.4 保安上、必要最小限を定めた法令が性能規定化されるならば、なお更、設計者には優れた技術的拠り所が必要です

設計者の具体的な技術的拠り所としての「水門鉄管技術基準」の重要性を、さらに高めて頂きたいと念願致します。

以上