

第 5 回 定 期 研 究 会

平成18年度 第5回定期研究会 議事録

日時 : 平成18年12月6日(水) 16:00~17:30

場所 : 愛知工業大学 本山キャンパス 2階 多目的室A・B

出席者: 小塩 (名大), 永田 (名工大), 安藤 (富士E), 平井 (名古屋道路E), 織田 (瀧上), 加藤, 藤田 (長大), 原田 (創建), 増田 (中部復建), 嘉津 (川田テカ), 片山 (JIP), 神頭 (日車), 鷲見, 相馬 (八千代E), 杉本 (IHI) 播金, 山田, 長屋, 村上, 江間, 古田土 (トピー)

21名(敬称略)

1. 定期研究会 (永田 研究会担当幹事)

講演題目 「衝撃を受ける構造物の性能照査型設計に関する現状について」

講演者 金沢大学 自然科学研究科 環境科学専攻 (工学部土木建設工学科) 梶谷 浩

講演内容

「衝撃を受ける構造物」として、様々な構造物を挙げることができる。例えば、地震時に発生した落石を受け止める落石防護工、車両の衝突を受け止めるガードフェンス、またテロによって航空機が衝突する可能性のある重要構造物 (原子力発電所や高層ビル等) がある。このように、衝突の原因も様々であれば、衝突する物体 (荷重) も様々であるなかで設計法を確立することは非常に困難であるが、信頼できる高い安全性を確保するためには技術的な検討が急務であるといえる。

このため、現在では衝撃が設計荷重である構造物を設計する際に指標となる包括設計コードを策定中である。この設計コードは性能照査も取り入れた「性能設計型包括設計コード」であり、要求性能と性能規定および重要度に基づき照査することを定義づけたものであるという説明がなされた。

その他に、衝撃を受ける構造物についての事例についても紹介があった。落石防護施設を設計する際の設計荷重をどのように設定するかという問題や、フランスにおけるメンテナンスを前提としたエネルギー吸収構造のロックシェッド、アメリカではテロによる事故の状況をモデル化によりFEM解析した例などが報告された。

橋梁においても衝撃は身近な存在であるため、関連する事例や設計時の考え方などについて活発な質疑応答が行われた。

以上//

講演題目：「衝撃を受ける構造物の性能照査型設計に関する現状について」

金沢大学 自然科学研究科環境科学専攻（工学部土木建設工学科） 榎谷 浩

キーワード：衝撃，性能設計，偶発，限界状態

講演概要：

飛来物・落下物あるいは移動物体の衝突による衝撃荷重を受けることが予測される構造物としては、落石防護工・砂防ダム・原子力発電関連施設・ガードフェンスなどがある。これらの耐衝撃設計は、現在基本的には最大衝撃荷重を静的荷重に置き換えて許容応力度法に基づいて行われている。ただし、上記構造物は対象とする衝撃荷重および構造物の機能・目的・形式などが異なるため、設計法は構造物個々に確立する必要がある。しかしながら、衝撃荷重の特定や衝撃応答の複雑さのため、設計法を確立することは容易ではなく既往の土木学会の衝撃関係委員会では、許容応力度法によるロックシェッドの耐衝撃設計法に関する新たな考え方を提起するにとどまっていた。国際的にも土木工学ではこの分野での設計概念の構築はあまり行われていないが、信頼できる高い安全性を確保するために、特に性能照査型耐衝撃設計法に関する技術的な検討を行うことが急務であると考えられている。

このような観点から、衝撃荷重を受ける構造物を対象とした性能照査型耐衝撃設計法を確立のために、耐衝撃構造物に関する性能を規定する概念の構築や、構造部材に関する衝撃耐力評価法の確立に向けた実験的・解析的検討が鋭意行われている。具体的には、実験による性能照査と部材の耐衝撃設計、耐爆構造部材の性能照査と耐爆構造物、解析による性能評価の方法、落石などに対する防護構造物の性能設計、砂防ダムの性能設計、その他の衝撃問題（航空機衝突、港湾構造物、車両衝突、耐震緩衝システムなど）について検討されている。

ここでは、衝撃関係の現在の研究活動について概説し、現在検討中である性能照査型包括設計コード（案）そして落石防護構造物の性能照査型設計コード（案）について紹介する。

衝撃を受ける構造物の性能照査型包括設計コードについて

STUDY ON COMPREHENSIVE PERFORMANCE BASED DESIGN CODES FOR STRUCTURE UNDER IMPACT

榎谷 浩*
Hiroshi Masuya

*工博, 金沢大学教授, 自然科学研究科環境科学専攻 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

キーワード: 衝撃, 性能設計, 偶発
(Impact, Performance based design, Accident)

1. まえがき

飛来物・落下物あるいは移動物体の衝突による衝撃荷重を受けることが予測される構造物としては, 落石防護工・砂防ダム・原子力発電関連施設・ガードフェンスなどがある。これらの耐衝撃設計は, 現在基本的には最大衝撃荷重を静的荷重に置き換えて許容応力度法に基づいて行われている^{1,2)}。ただし, 上記構造物は対象とする衝撃荷重および構造物の機能・目的・形式などが異なるため, 設計法は構造物個々に確立する必要がある。しかしながら, 衝撃荷重の特定や衝撃応答の複雑さのため, 設計法を確立することは容易ではなく既往の土木学会の衝撃関係委員会では, 許容応力度法によるロックシェッドの耐衝撃設計法に関する新たな考え方を提起するにとどまっていた²⁾。

一方, 平成14年10月に国土交通省から出された「土木・建築にかかる設計の基本」によれば, 構造物の設計は今後性能照査型設計の概念に基づいて実施される運びとなっている³⁾。したがって, 衝撃荷重を受ける構造物の場合においては, 信頼できる高い安全性を確保するために, 特に性能照査型耐衝撃設計法に関する技術的な検討を行うことが急務である。国際的にもこの分野での研究や設計概念の構築はあまり行われていない。

このような観点から, 構造物の性能照査型耐衝撃設計に関する研究小委員会では, 衝撃荷重を受ける構造物を対象とした性能照査型耐衝撃設計法を確立するために, 耐衝撃構造物に関する性能を規定する概念の構築や, 構造部材に関する衝撃耐力評価法の確立に向けた実験的・解析的検討を行っている^{4,5)}。委員会の活動目的は下記の通りである。

- ・耐衝撃設計が必要とされる構造物を目的・機能別に分類し, その構造物の性能を規定する概念の構築。
- ・各種構造部材の性能照査型設計を確立するために必要

な基礎データの収集。

- ・衝撃問題に直接また間接的に関係する既往委員会の研究成果および課題を踏まえて, 継続的な検討。
- ・衝撃問題に関するシンポジウムを開催と国内外における衝撃問題に関する窓口の役割。

ここでは, 衝撃関係委員会の経緯と現行委員会の現在活動について説明し, 最後に現在検討中である性能照査型包括設計コードについて紹介する。

2. 衝撃に関する委員会の経緯

1989年7月に福井県越前町の一般国道305号で発生した岩盤崩落事故を契機として, 土木学会における衝撃問題に関する本格的な活動が始まった¹⁾。その事故では, 激しい雨のあと越前海岸に沿う道路で, 落石覆工(ロックシェッド)と落石柵上に岩盤崩落が発生した。岩盤崩落によりロックシェッドと落石柵は崩壊し, ちょうどそのロックシェッド内を通行中の観光小型バスが巻き込まれ, 15名の乗客全員が死亡するという痛ましい災害であった。落石による災害は地震と異なり, 局所的なものであるが, 危険な箇所では頻繁に発生する。

土木学会の構造工学委員会に衝撃問題に関する衝撃問題研究小委員会(初代委員長:石川信隆防衛大学校教授, 2代目委員長:小林治俊大阪市立大学教授, 3代目委員長:岸徳光室蘭工業大学教授)の下で1991年に開催された「落石等による衝撃問題に関するシンポジウム」に端を発し, 意欲的な活動を続け, 2004年には第7回のシンポジウムを開催した。初期のシンポジウムでは, ロックシェッドの耐衝撃性にかかわる衝撃力評価の問題や緩衝構造の開発およびロックシェッド構造の耐衝撃性に関する問題が大勢を占めていた。その後, 兵庫県南部地震で見られた衝撃的地震動や被害の軽減対策に関する問題, 車両衝突や航空機衝突問題そして波浪による衝撃など幅

広い範囲の研究が発表されるようになってきた。最近では爆発に関する耐衝撃性についても研究されるようになってきた。

1993年には、「構造物の衝撃挙動と設計」¹⁾が土木学会から最初に出版された(編集:石川信隆)。この本は基礎編と応用編に分かれている。基礎編では、基礎的な衝撃理論、衝撃実験法そしてコンクリート部材や複合構造の衝撃破壊形態について述べられている、応用編では、落石、土石流をはじめとして、原子力施設の衝撃問題、海洋構造物などの実務的な内容を取り扱っている。

これに引き続き、1998年には「ロックシェットの耐衝撃設計」²⁾が出版されている。これは主に落石問題について最新の情報を記述したものである(編集:小林治俊)。現行設計法、落石の衝撃力、ロックシェットの動的挙動そしてロックシェットの限界状態が記述されている。また、付録には各種衝撃理論の解説、ISOにおける衝撃の規定なども紹介されている。

また、2004年には「衝撃実験・解析の基礎と応用」⁴⁾がやはり土木学会から出版されている(編集:岸徳光)。実験方法、解析方法そして実験や解析の応用例の3編より構成されている。最初に衝撃実験の各種方法と測定法そしてデータ処理法など初めて衝撃実験を行う技術者のガイドとなるように書かれている。解析法についても、現在行われている解析手法の基礎的な解説、コンクリートや鋼のひずみ速度効果などについても解説している³⁾。最後に、実験や解析を用いた実際問題への適用事例や提案例も紹介している。

落石問題では、2002年には、日本道路協会から「落石対策便覧に関する資料—落石シミュレーション手法の調査研究資料—」⁹⁾を出版している。これは、海外を含め、開発提案されている落石運動の予測手法(落石シミュレーション)や屋外実験の調査結果がまとめられている。実の際に利用可能ないくつかの手法により共通解析を行い比較検討している。シミュレーション例や現場への応用例も紹介されている。この資料については著者を含め土木学会の衝撃委員会のメンバーがこの資料の執筆に参加した。

1999年には、落石衝撃力と防護工の設計に関する日本-スイス科学セミナーが著者とVincent Labiouse(Swiss Federal Institute of Technology Lausanne)の企画により金沢で開催された。実務に関わる設計や落石対策に関する興味深い論文が発表され、日本とスイスの専門化による充実した討論が行われた⁹⁾。

2003年には、第1回衝撃荷重に対する防護構造物の設計と解析に関する国際会議が大野友則(防衛大学校)、T. Krauthammer(Pennsylvania State University)そしてT.-C. Pan (Nanyang Technological University)の3名により企画され開催された⁷⁾。

3. 本委員会の活動について

3.1 ワーキンググループ活動

我が国では、鋼構造、コンクリート構造といった、各構造物の特徴に合わせて技術基準を発達させてきた。このことは、各種構造物の最適化を図るといった意味では効率がよかったと考えられる。しかし、最近重要とされる説明性の点では、十分なものとは言いがたい。

まえがきでも述べたとおり、構造物の性能照査型耐衝撃設計に関する研究小委員会では、衝撃荷重を受ける構造物を対象とした性能照査型耐衝撃設計法を目指し、2004年5月より活動を開始した。衝撃問題にはいろいろな問題があるため、本委員会では、当初、表-1に示す6(1から6)のワーキンググループを設け、各WGでは範囲を限定した熱心な研究活動を行ってきた。なお、衝撃荷重(作用)と衝撃が作用する構造物の性能の重要性により荷重と限界状態WGも包括的な観点での取り組みを途中より活動を開始した。

表-1 構造物の性能照査型耐衝撃設計に関する研究小委員会のワーキンググループ一覧

No.	ワーキンググループ名	主要な内容
1	実験による性能照査と部材の耐衝撃設計WG	RCを中心とした各種部材の実験による衝撃挙動の解明
2	耐爆構造部材の性能照査と耐爆構造物WG	爆発荷重と構造物の挙動、耐爆設計
3	解析による性能評価の方法WG	衝撃荷重下の構造物の数値解析手法に関する研究
4	落石などに対する防護構造物の性能設計WG	各種落石防護構造物の性能と性能設計コード
5	砂防ダムの性能設計WG	砂防堰堤包括設計コード
6	その他の衝撃問題(航空機衝突、港湾構造物、車両衝突、耐震緩衝システムなど)WG	多様な構造物の耐衝撃設計の現状と展望
7	荷重と限界状態WG	構造物の設計用衝撃荷重の設定

3.2 委員会活動のまとめ

現在、ワーキンググループ活動成果のまとめの作業が上述したワーキンググループで行われている。図-1は現在の活動報告の目次(案)を示したものであり、性能設計に向けた各ワーキング活動の最新の成果が盛り込まれる予定である。

構造物の性能照査型耐衝撃設計 に関する研究小委員会報告書	
第1章	各種構造物の性能設計体系の現状分析
第2章	衝撃作用を受ける構造物の性能設計型包括設計コードの提案
第3章	性能設計体系に向けた取り組み
第4章	性能設計に関連する各種技術
第5章	まとめ

図-1 活動報告目次 (案)

第1章は、衝撃作用を受ける構造物の設計体系の現状について解説するものである。

第2章では、まず衝撃作用を受ける構造物の設計コードを包括的な立場で記述する。これは各構造物の設計技術標準の策定あるいは改定の基本となる事項を示すものである。いわゆる「Code for Code Writers」であり、個別の構造物に関する設計技術標準の策定・改定において考慮すべき事項を包括的に示すこととしている。そのほか、砂防堰堤の性能設計コード案や落石護構造物の性能設計コード案などについても説明する。

第3章では、本委員会における実験による性能照査と部材の耐衝撃設計WGと解析による性能評価の方法WGが行ってきた具体的な活動内容の報告と性能照査を中心とする性能設計体系への成果の取り込みについて示す予定である。

第4章では、その他の衝撃問題（航空機衝突、港湾構造物、車両衝突、耐震緩衝システムなど）について設計法の現状と性能設計に向けた取り組みについて説明する。

4. 衝撃作用を受ける構造物の包括設計コード

衝撃作用を受ける構造物の性能設計型包括設計コードの目次案は図-2に示す通りである。なお、設計コード(案)は付録Aに示す。

第1章 総則では、目的を、構造種別の区分にとらわれず、荷重種類の一つである衝撃荷重を主体とした包括設計コードを策定し、各種構造物で衝撃荷重を設計荷重として考慮する場合の統一かつ合理的な設計を行うための指針を示すこととした。その後適用範囲を示すとともに本包括設計コードの記述方針が、国際標準の設計体系に従い、土木学会のPLATFORM ver.1.0⁸⁾に準拠することを記述した。

第2章 要求性能および性能規定では、構造物の目的と特性に応じ、衝撃作用を偶発作用あるいは変動作用として取扱いが可能であり、変動作用とする場合には多段階の性能規定が設けられることを記述している。

第3章 重要度では、構造物の重要度に応じた性能規定の必要性について記述している。

第4章 照査では、原則として解析、実験あるいはその組合せにより照査することと記述している。

第5章 審査では、あらかじめ定められた設計仕方書など指定した以外の手法による審査の場合における要求される注意点について説明している。

この包括的記述コードの詳細については、現在、構造物の性能照査型耐衝撃設計に関する研究小委員会にて検討中であり、確定したものではない。

性能設計体系における土木構造物の 耐衝撃包括設計コード (共通編)	
第1節	総則
第2節	要求性能と性能規定
第3節	重要度
第4節	照査
第5節	審査
用語の定義	

図-2 性能設計体系における土木構造物の耐衝撃包括設計コード目次 (案)

5. まとめ

本論文では、衝撃問題に関する経緯、衝撃を受ける構造物の設計の現状を概説し、構造物の性能照査型耐衝撃設計に関する研究小委員会の活動状況について報告した。

また、現在本委員会にて検討中である衝撃を受ける構造物の性能照査型包括設計コードについて紹介した。多くの技術者、研究者によるさらなる検討により、耐衝撃設計法策定のためのよりよい包括設計コードの完成が望まれる。

謝辞

本論文は、構造物の性能照査型耐衝撃設計に関する研究小委員会の委員会活動を通じ、多くの委員の方々をはじめ関係諸氏よりいただいた貴重な御意見に基づき執筆したものである。ここに心より感謝の意を表します。

付録A

第1節 総則

1. 1 目的

本包括設計コードは、衝撃作用を受ける構造物の設計法を策定する場合に、衝撃作用に対する設計法を性能照査型の体系に適応させることにより、公共の需要に柔軟かつ適切に応じた土木構造物の建設を促すことにある。

【解説】

土木学会では、性能設計体系に基づく Code for Code Writer として、包括設計コード（性能設計概念に基づいた構造設計コード作成のための原則・指針と用語：code PLATFORM ver.1.0, 2003.3）を土木学会包括設計コード策定基礎調査委員会により策定している。

この包括設計コードによると、包括設計コードの低位に、その趣旨を踏まえた構造物ごとの包括設計コードを作成し、コード体系の階層化を図り、徐々に具体化することが示されている。

一方、土木学会土木構造荷重指針連合小委員会の指針（案）は、荷重（作用）ごとに設計荷重の源となる作用因子の特性について記述している。

これらの活動を概観し、構造種別の区分にとらわれず、荷重種類の一つである衝撃荷重を主体とした包括設計コードを策定し、各種構造物で衝撃荷重を設計荷重として考慮する場合の統一かつ合理的な設計を行うための指針を示した。

1. 2 適用範囲

- (1) 衝撃作用には、大別して衝突作用と爆発作用（衝撃圧作用）がある。本包括設計コードは、これらの作用を受ける土木構造物の設計に対して適用される。
- (2) 本包括設計コードは、土木構造物の衝撃作用に対する設計を性能設計の考え方にに基づき、設計示方書、マニュアルなどを策定する場合に適用される。
- (3) 本包括設計コードは、既存の設計示方書やマニュアルによらずに、独自の設計や技術に基づいて、土木構造物の衝撃作用に対する設計を行う際に、その技術を審査する場合に適用される。

1. 3 本包括設計コードの記述方針

- (1) 本包括設計コードは、ISO2394 に代表される国際標準の設計体系に従うものとする。
- (2) 本包括設計コードは、土木学会包括設計コード策定基礎調査委員会による「性能設計概念に基づい

た構造物設計コード作成のための原則・指針と用語、PLATFORM ver.1.0」の示す性能設計体系に準拠して記述する。

- (3) 本包括設計コードでは、耐衝撃性能を要求される構造物を設計する場合の、目的、要求性能、性能規定、照査および審査に関しての一般事項を示す。

【解説】

本包括設計コードは、ISO2394 に代表される国際標準化に適合する趣旨に基づき示された、土木・建築にかかる設計の基本（国土交通省、2000.3）および包括設計コード（性能設計概念に基づいた構造設計コード作成のための原則・指針と用語：code PLATFORM ver.1.0, 土木学会包括設計コード策定基礎調査委員会、2003.3, 以下 code PLATFORM と呼ぶ）の示すところに従って指針化する。

よって、上記の指針等が改定される場合、もしくは、本包括設計コードにおいて上記の指針等に沿わないものが明らかになった場合には、速やかに改定されるべきものである。さらに、本包括設計コードの改定が行われないう間は、上記指針等に従うものとする。

第2節 要求性能および性能規定

2. 1 一般

- (1) 設計法の策定者もしくは設計者は、当該構造物の目的に応じた衝撃作用に対する要求性能を適切に設定し、その過程を含めて明示しなければならない。
- (2) 設計法の策定者もしくは設計者は、当該構造物の要求性能を構造物の特性に合わせて、具体的な性能規定に置き換え、その過程を含めて明示しなければならない。
- (3) 性能規定は、必要な他の作用との組み合わせを含む衝撃作用の大きさとそれに対応する構造物もしくは構造要素の限界状態によって示される。なお、性能規定が満足されるべき設計供用期間は、当該構造物の他の要求性能（性能規定）と共通とする。

【解説】

- 1) 衝撃を受ける構造物や構造要素の設計においては、自然条件、社会条件、施工性、経済性などを考慮し、個々の構造物の特性に応じて要求性能を実現するように合理的な性能規定を設けることが必要である。第(1)項では、衝撃作用に対する要求性能は単独で考えられるべきものではなく、その構造物の設置目的を他の要求性能と共有し、それらとのバランスをとって設定されることを示した。

- 2) 第(1)項では要求性能の設定過程を明示することを求めた。これは、以下に続く性能規定の設定に至る背景情報を明示することでその一貫性を確認できるシステムとすると同時に、社会的環境要因や前提条件の変化、もしくは立脚する構造技術等が発展した際に適切な修正を促すためである。
- 3) 性能規定が主として要求性能の具体的な数値化であることは、code PLATFORMで示すところであるが、ここではその設定過程をも明示することを求めた。性能規定は、この包括設計コードの下位にある基準や規定外の新技术や特殊な設計を個々に審査する際の根拠となるものであることから、規定の数値にとらわれることなく、その数値の背景にある趣旨を理解できる情報を明らかにすることを求めた。
- 4) 性能規定を設定する際に考慮される「構造物の特性」とは、狭義には構造物の使用材料や構造部材の種類などの違いによる特性をいう。例えば、「補修をすることなく続けて使用できる」という要求性能の具体化が、ある材料ではひび割れであったり、また別の材料ではへこみ変形であったりするからである。
- 5) code PLATFORMでは、性能規定は、「構造物の限界状態」「作用・環境的影響の程度とそれらの組み合わせ」、「時間」の3つの要素を組み合わせ示すものとしている。第(2)項では、構造物の設計が耐衝撃性能だけでは行えないことを考慮し、「時間」の要素は他の要求性能(性能規定)と共通であることを示した。なお、構造物の設計供用期間を細分化し、構造の一部を定期的に交換するなどのライフサイクルコストの観点からの要求性能を設ける場合、見かけ上短期の設定期間が想定されるが、その場合も包括的に見て設計供用期間に対する性能規定が満足されるように、短期の性能規定は設定されなければならない。

2. 2 衝撃作用の発生頻度と作用の種別

設計法の策定者もしくは設計者は、当該構造物の目的および特性に応じて、衝撃作用を偶発作用もしくは変動作用として取り扱い、その種別を明らかにする。

【解説】

- 1) 荷重作用は、作用頻度・持続性および変動の状況によって、一般に永続作用・変動作用・偶発作用に分類される。永続作用は、構造物の設計供用期間を通じてその変動が極めてまれか、常時作用値に比して無視できるほどに小さい荷重作用で、死荷重、プレストレス、土圧、水圧などが該当する。変動作用は、構造物の設計供用期間内の変動が連続あるいは頻繁に起こり、常時作用値に比して変動が無視できない程度に大きな作用で、活荷重、温度変化、風荷重、雪荷重、設計地震動などが該当する。偶発作用は、設計供用期間中に作用する頻度が推定できない程度に極めて小さいが、一回作用するとその影響が甚大な作用で、社会的にそのリスクが無視できない作用である。偶発作用には、最大級の地震動、衝突、爆発、極めてまれな暴風、火災などがある。
- 2) ISO2394に代表される標準的な基準では、一般構造物(衝撃作用を主対象とする構造物以外)を対象とした記述がなされ、その中では衝撃作用は、偶発作用として分類されている。偶発作用と変動作用の主たる相違点は、他の変動作用との組み合わせ状態を設計状態として考慮するか否かにある。したがって、衝撃作用(偶発作用)を主対象とした構造物の場合、単一性能規定で処理される傾向にある。もし、発生頻度分布が容易には推定できない偶発作用を主対象とすると、構造物の目的—要求性能—性能規定という一連の設計に関する合理性の低下もあり得ることが懸念される。そこで、本包括設計コードでは、衝撃作用を主対象とする構造物の設計には、変動作用とした取り扱いが可能であることとした。
- 3) 変動作用として取り扱う場合には、後述する限界状態の指定によって一般に多段階の性能規定が設けられる。また、比較的高頻度低レベルの作用に対する性能規定では、他の変動作用との組み合わせ状態を規定する。

2. 3 衝撃作用に対する限界状態

- (1) 衝撃作用に対する性能規定（要求性能）は、構造物の特性に応じて、使用限界状態、修復限界状態および終局限界状態のいずれか、もしくはそのいくつかについて定義する。
- (2) 衝撃作用を変動作用として取り扱う場合には、一般に複数の限界状態を指定する。
- (3) 衝撃作用を偶発作用として取り扱う場合には、単一の限界状態（多くの場合終局限界状態）を指定する。
- (4) 限界状態の物理的事象には、衝撃作用特有の事象のみならず、一般の作用によって生ずるものも含まれる。

【解説】

- 1) 衝撃作用に対する限界状態の設定は、基本的には一般の作用に対する限界状態と同様に行う。ただし、衝撃作用を主作用とする構造物は稀であるため、偶発作用として取り扱われ、終局限界状態を想定した単一の限界状態に対応させることが多いと考えられる。
- 2) 構造物が衝撃作用を受けると、裏面剥離や貫通などの局部応答が卓越して起こる場合も多い。よって、衝撃作用に対しては、そのような衝撃作用特有な現象を意識しがちである。しかし、一般の動的な作用を受ける構造物と同様な応答も生じる。したがって、各種の動的応答の中から、構造物の目的に照らして限界状態として定義すべきものを選択する。
- 3) 衝撃作用を受ける構造物の限界状態は、一般に以下のような現象の中から定義する。
 - 1) 使用機能の低下
 - a) 振動
 - b) 水密性
 - c) 気密性
 - d) その他
 - 2) 局所破壊
 - a) 表面破壊
 - b) 貫入
 - c) 裏面剥離
 - d) 貫通
 - e) その他
 - 3) 構造要素の破壊
 - a) 変形
 - b) 破断
 - c) その他
 - 4) 構造システムの破壊
 - a) 変形
 - b) 保護空間への侵入
 - c) その他

5) その他

飛散物による二次災害など

第3節 重要度

- (1) 性能規定の設定においては、構造物の重要度を考慮しなければならない。
- (2) 多段階の性能規定を定める設計法では、対応する限界状態の選択肢を与えることによって、構造物の重要度を考慮できる。
- (3) 同一の性能規定に対して、安全係数の選択により重要度を考慮することもできる。

【解説】

構造物の重要度に応じた性能規定の設定は、社会的説明責任を果たすうえで重要である。当然のことながら、重要度はその構造物の目的から決定されるものであるが、設計基準や設計マニュアルは、幅広い目的に応じた設計を可能とする必要がある。その中では、必ず構造物の重要度に応じた設定の自由度を設計者に与えることが必要である。

土木構造物の社会的意義を情報開示するうえで、説明責任に対応可能な方法を選択することが望ましい。その観点から、多段階の性能規定を設定する場合には、重要度に応じて限界状態と作用の組み合わせを選択する方法とした。これは、図-Aに示す概念に従って、いくつかのレベルの異なる設計作用と限界状態の組み合わせの選択肢を示し、その中から重要度に応じた性能規定を選択させるものである。

- 1) 衝撃作用を偶発作用として取り扱う場合には、工学的な最大荷重のみによって性能規定を定めることになり、対応する限界状態を如何に設定するかが困難な場合もある。図-Aのような性能規定の組み合わせを用いる場合においても同様に検討対象とする限界状態を如何に設定するかが困難な場合もある。その場合には、同じ性能規定に対する達成確率を高めることによって重要度を調整することもある。例えば、部分安全係数法によって、性能規定の照査を行う場合に、各部分安全係数を信頼性指標に応じて求めると¹⁾、重要な構造物の信頼性指標を大きくすれば、見かけ上、設計作用値は大きく、材料や部材の抵抗限界値は小さくなる（付録部分安全係数と設計荷重参照）。

第4節 照査

- (1) 設計における性能照査は、指定された各々の性能規定に対して、解析、実験、もしくはその組み合わせによって行う。

(2) 設計示方書、マニュアルなどの策定者は、照査に使用可能な解析法を指定することができる。

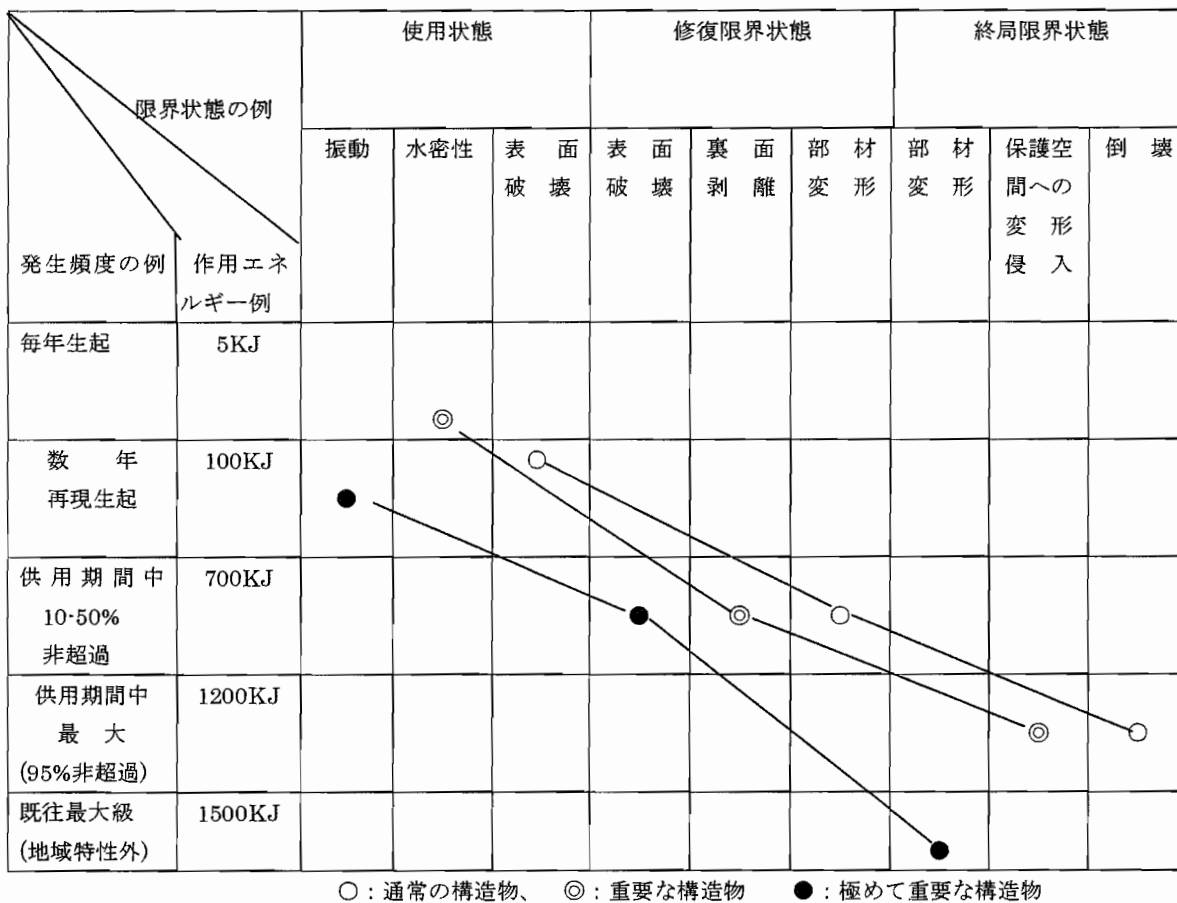
(3) 設計示方書、マニュアルなどの策定者もしくは設計者は、指定された解析法以外の方法による照査を用いる場合には、その審査方法を示さなければならない。

(4) 実験に基づく照査法を基本とする場合には、衝撃作用（値、作用点等）、構造物の設置法、限界判定方法について可能な限り必要とされる具体的な規定を示すことが望ましい。

(5) 実験に基づく照査法を基本とする場合には、実験モデル化に伴う不確実性も考慮して、照査基準である性能規定の作用値もしくは限界状態値を適切に補正する。また、その導出過程を記述することが望ましい。

な条件下で限界状態を照査できる解析に基づく照査方法は、実務上有用である。

- 2) 照査は、原則として個々の妥当性を全て検討するものである。そのため、あらかじめ設計示方書、マニュアルなどの策定者が、事前に適用範囲が明らかで汎用性の高い解析法の適用性を十分合理的に審査した場合については、その解析法の妥当性の審査は省略できるものとする。
- 3) 衝撃作用の限界状態は、構造材料もしくは部材の線形領域を超えた非線形応答領域で設定されることが多い。このため、材料非線形、幾何学的非線形および材料のひずみ速度効果等を考慮した弾塑性解析、もしくはエネルギー保存則に基づく比較的簡易な解析などが照査のために行われる。



【解説】

- 1) 衝撃作用、特に衝突作用を受ける構造物の応答は、現象の初期に現れる局所破壊の応答によって、繊細に変化するため、その応答解析は概して実現象（実験）と良い精度で一致することが容易ではない場合も多い。しかし、実物実験はコスト面における障害が大きいことから、多様

前者の高度な弾塑性解析では、パラメータの種類と数が多く、解析結果はそれらの設定に依存する。一方、後者のかなり単純化したモデルを用いた解析やエネルギー保存則による解析では必要なパラメータの数が少ないため、ある程度妥当な範囲のパラメータを用いれば解析結果には大きな差異は生じないものの一般に誤差は大きい。よって、信頼性の公正さを確保するため

にはこのような解析方法の特徴に十分留意する必要がある。

- 4) 構造物の規模が比較的小さい場合には、実荷重に近い衝撃作用を与える実規模実験によって性能規定を照査することがある。これは、説明責任のうえでも分かり易い照査法である。しかし、多くの場合、実験ケース数にコスト面からの制約がかかるため、照査すべき荷重ケースの中から代表的なものに限定されることが多い。よって、この場合にも、その実験結果と本来照査すべき性能規定の限界状態に実験モデル化の誤差があることを配慮する必要がある。

第5節 審査

設計示方書、マニュアルなどの策定者もしくは設計者は、その設計示方書やマニュアルなどで指定する照査方法以外の手法で照査を行う場合や、その設計示方書やマニュアルなどで想定した材料、部材、もしくは技術によらないものによって設計を行う場合に、その照査結果を審査する方法を示さなければならない。

【解説】

- 1) 審査は、公正・中立かつ設計法の策定趣旨を適切に理解し判断可能な機関が行っても構わない。

用語の定義

本ガイドライン（案）では、関連規格で定められた用語と定義を準用し、主要な技術用語に対して用語と定義を適用する。

なお、用語右肩に添えた番号は以下の引用したコードを示す。

- 0) 本包括設計コードにおいて新たに定義した用語
1) ISO2394（構造物の信頼性に関する一般原則，General principles on reliability for structures）で定義された用語
2) 包括設計コード（性能設計概念に基づいた構造設計コード作成のための原則・指針と用語：code PLATFORM ver1.0, 2003.3）で定義された用語
3) 土木・建築にかかる設計の基本（国土交通省，2003.3）
4) 土木鋼構造物の性能設計ガイドライン（2001.10）で定義された用語
5) ISO13822（構造物の設計の基本—既存構造物の性能評価，Bases for design of structures –Assessment of existing structures）で定義された用語

構造物¹⁾：剛性を発揮するように設計された種々の部材を結合し、組織的に組み上げたもの。

構造要素¹⁾：構造物を構成する要素で、物体として識別可能なもの、例として柱、はり、板などがある。

構造物の重要度²⁾：構造物の生み出す便益の大きさ、緊急時の必要性、代替構造物の有無などに応じて決められるべき構造物の重要さの程度。

荷重³⁾：構造物に働く作用を、作用モデルを介して、断面力、応力、または変位などの算定という設計を意図した計算の入力に用いるために、直接に構造物に作用する力学的な力の集合体に変換したもの。

応答値⁴⁾：外力により構造物に発生する物理量。

作用¹⁾：構造物に集中あるいは分布して働く力学的な力（直接的作用）、あるいは構造物に課せられる変形や拘束の原因（間接的作用）などを用いる

作用の代表値¹⁾：限界状態の照査に用いられる数値作用の特性値¹⁾：作用の主要な代表値。基準期間中に所定の非超過確率を持つように統計的に定められるか、過去の経験により選ばれる値。

作用の組合せ¹⁾：異なる作用を同時に考慮した限界状態に対する構造物の性能照査に用いる設計値の組み合わせ。荷重組合せとも呼ばれる。

静的作用¹⁾：構造物あるいは構造要素に有意な加速度を生じさせない作用

調査⁵⁾：点検、資料調査、載荷紙面、その他の試験により情報を収集し評価を下すこと。

点検⁵⁾：構造物の現在の状況を確定するために現場で行われる非破壊検査。

安全性⁶⁾：作用に対する構造物あるいは構造要素の安全性。

設計供用期間¹⁾：大きな補修を必要とせず、当初の目的のために構造物や構造要素を使用できると仮定した期間

基準期間¹⁾：変動作用や時間依存性を有する材料特性などの値を評価するための根拠として用いられるある一定の期間。

永続作用¹⁾：与えられた設計対象期間を通じ、常に作用すると考えられる作用で、その時間的変動が平均値と比較して小さいもの。その変動がわずかであり、かつ限界値を持つ作用。

偶発作用¹⁾：当該構造物が、その設計期間中にはまれにしか生じないが、一度生じると当該構造物に重大な影響を及ぼすと考えられる作用

性能規定⁴⁾：性能照査を具体的に行えるように、要求性能を具体的に記述したものであり、構造物の限界状態、作用・環境の影響および時間の組み合わせによって定義される。

性能照査⁴⁾：構造物が性能規定を満足しているかどうかを判定する行為。限界状態設計法では、応答値Sと対応する限界値Rの間で $S \leq R$ の判定を行う

限界状態²⁾：性能規定に対応して、構造物の意図し

た状態と意図からはずれた状態を区別する、ある状態。

終局限界状態¹⁾：崩壊もしくはそれに類似した構造物の破壊を招く危険な状態

使用限界状態¹⁾：構造物または構造要素が使用性に関する要求性能を満足できなくなる状態。

修復限界状態²⁾：想定される作用により生じることが予測される損傷に対して、適用可能な技術でかつ妥当な経費および期間の範囲で修復を行えば、構造物の継続使用を可能とすることができる状態

要求性能²⁾：構造物が保有する必要がある性能を一般的な言葉で表現したもの。

照査アプローチA²⁾：構造物の性能照査に用いられる方法に制限を設けないが、設計者に対して、構造物が規定させた要求性能を適切な信頼性で満足するよう要求する構造物性能照査のアプローチ。

照査アプローチB²⁾：構造物の性能照査に、当該構造物の構造的機能を統括する行政機関／地方公共団体／事業主体などが指定する固有基本設計コード（または固有設計コード）に基づいて、そこに示された手順（設計計算など）に従い、性能照査を行う性能照査アプローチ。

劣化³⁾：構造物の性能と信頼性が時間経過とともに低下する過程。

損傷³⁾：構造物の性能に悪影響を及ぼしうる構造物の状態変化。

維持管理³⁾：構造物の性能を適正に保つために行われる行為。

補強²⁾：構造物の力学的性質を現状よりも向上させるための対策を講じる行為。

補修²⁾：揭示変化による構造物の性能低下に対する抵抗性を改善する行為。

航空機衝突⁰⁾：航空機が墜落して構造物に衝突すること。

桁衝突⁰⁾：地震時など衝撃的な作用により橋梁の主桁どうしが衝突する現象。

空中爆破⁰⁾：空気中で爆薬などの衝撃波を発生させるものの爆発。

砂防堰堤⁰⁾：流域の土砂流出の抑制・調整・捕捉、また流木流下の抑止・抑制・捕捉を目的として河川に設けられる土木施設。

車両衝突⁰⁾：トラックなどの交通車両が、道路構造物に衝突すること。

水中爆発⁰⁾：水中で爆薬などの衝撃波を発生させるものの爆発。

船舶衝突⁰⁾：船舶が防波堤や海洋構造物に衝突すること。

耐爆設計⁰⁾：爆風荷重への抵抗を考慮した構造物の

設計

地中爆発⁰⁾：地中で爆薬などの衝撃波を発生させるものの爆発。

土石流⁰⁾：山腹、川底の石や土砂が長雨や集中豪雨などによって一気に下流へと押し流される現象。

動的作用¹⁾：構造物あるいは構造要素に有意な加速度を生じさせる作用

爆発⁰⁾：急速な膨張を言い、一般的には気体の急速な熱膨張を指す。爆燃とも呼ばれる。

爆風圧⁰⁾：爆発により発生し、大気中を伝播する衝撃波による圧力である。

変動作用¹⁾：その大きさの時間的変動が平均値に比べ無視できず、かつ単調変化をしない作用。

防舷材⁰⁾：船舶が岸壁に接岸するときの衝撃力を和らげ、船の舷側および岸壁自体を保護するために設置させる材料。

防護構造物⁰⁾：落石、雪崩、土砂崩れなどから通行者や通行車両を防護するための構造物

落石⁰⁾：落石とは、岩盤の不連続面（岩盤中に発達する節理、片理、層理等の割れ目）が拡大して、岩塊や礫がはく離したり、表層堆積物、火山噴出物、固結度の低い砂礫層の中の岩塊、礫が表面に浮き出して斜面より落下する現象をいい、落下した岩塊等も落石ということが多い

参考文献

- 1) 土木学会構造工学委員会：構造物の衝撃挙動と設計法，構造工学シリーズ6，1994。
- 2) 土木学会構造工学委員会：ロックシェットの耐衝撃設計，構造工学シリーズ8，1998。
- 3) 国土交通省：土木・建築にかかる設計の基本，国土交通省，2000。
- 4) 土木学会構造工学委員会：衝撃実験・解析の基礎と応用，構造工学シリーズ15，2004。
- 5) Kishi, N., Ando, T., Imoto, K., Ishida, M., Kasai, Y., Katsuki, S., Kanbayashi, A., Masuya, H., Round Robin analysis of RC beam subjected to impact load due to falling weight, Proceedings of the first international conference on design and analysis of protective structures against impact/impulsive/shock loads, pp.305-318, 2003.
- 6) 日本道路協会：落石対策便覧に関する資料 -落石シミュレーション手法の調査研究資料-，2002。
- 7) Matsuo, O., Tsutsumi, T., Sasaki, T. (1999), Current states of practices and technical issues of rockfall disasters and their mitigation measures in Japan, Proc. of Joint Japan Swiss Scientific Seminar on Impact Load by Rock Falls and Design of Protection Structures, Edited by Masuya, H. and Labiouse

V., Kanazawa.

- 8) 土木学会包括設計コード策定基礎調査委員会：性能設計概念に基づいた構造設計コード作成のための原則・指針と用語（code PLATFORM ver1.0），2003