

被災構造体の補修補強後の耐力変形状評価研究委員会

第1回 WG2：損傷評価 議事録

日時：2004年11月24日（水）15:00～17:00

場所：（社）日本コンクリート工学協会 12F 会議室

出席者：北山（幹事）、白井（委員長）、伊藤、岡野、河野、斉藤、松田（事務局）、田嶋（記録）、
以上8名

資料

No.WG2-1-1 WG2（損傷評価）資料（北山）

No.WG2-1-2 PC 梁部材の残留曲げ・せん断ひび割れ幅（河野）

No.WG2-1-3 A FRAMEWORK METHODOLOGY FOR PERFORMANCE-BASED EARTHQUAKE
ENGINEERING（白井）

No.WG2-1-4 鉄筋コンクリート部材の損傷と評価指標（斉藤）

No.WG2-1-5 Seismic Damage Indices for Concrete Structures: A State-of-the-Art Review

議事内容

1. 損傷評価 WG2 の目次案について（資料 No. No.WG2-1-1）

北山幹事より、資料 No.WG2-1-1 にもとづいて、WG2 の報告書目次案が説明された。以下に、WG2 の報告書目次案に関する説明の概要を示す。

- (1) 報告書を作成するにあたり、JCI 野口委員会の損傷評価 WG が非常に参考になるので、是非目を通しておいていただきたい。
- (2) 本年度における WG2 の報告書は、「1 章 損傷評価を行う目的と必要性」「2 章 損傷評価の現状と到達点」「3 章 損傷評価の先にあるもの」という3つの章で構成しようと考えている。
- (3) 本年度は、来年度からの2年間に行う研究活動の指針づくりを目的とし、活動ガイドラインの作成および復旧性を考慮した耐震性能評価法の枠組み作りを行う。
- (4) JCI 野口委員会報告書に示されている「構造設計において損傷評価法を確立するために必要な手順」では、3つの項目（損傷評価法の確立、品質の経時変化・複合作用の考慮、損傷の経済的評価法の開発）が示されているが、本年度の報告書においてそれら全てを対象とするのかどうかを判断する必要がある。
- (5) 第1章において、経済的な話に触れる場合、WG1 との関連を考慮する必要がある。
- (6) 第2章では、損傷評価に関する研究の現状を整理する。例えば、建築学会において「鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針（案）・同解説」が発刊されており、各種部材の性能評価法ならびに部材の損傷から建物全体の限界状態を定める方法について例示されている。
- (7) 第3章では、部材や構造物全体の限界状態の設定方法や損傷制御型設計手法、被災した構造物の残存性能の予測と評価および耐震補強した構造物の性能評価法などについて記述する。

2. 各委員の資料に関する説明（資料 No.WG2-1-2～4）

次に、白井委員長、河野委員および斉藤委員の資料に関して、それぞれ説明が行なわれた。まず、白井委員長より、資料 No.WG2-1-3 にもとづいて、本年度開催された WCEE13th（第 13 回世界地震工学会議）において発表された性能評価型耐震設計に関する論文が紹介された。以下に、概要を示す。

- (1) 本論文は、バークレー大学の Jack MOEHLE とスタンフォード大学の G.DEIERLEIN によって書かれた論文であり、PEER（Pacific Earthquake Engineering Research Center）における性能評価型耐震設計への取り組みを示している。
- (2) 資料に示した「図.1 性能評価型耐震設計の視覚化」では、構造物の損傷状態を荷重－変形関係と対応付けるだけでなく、Replacement（建替え率）、Casualty rate（被災率）、Downtime（機能停止期間）とも対応付けている。
- (3) 資料に示した「図.2 基本確率論手法」では、PEER における性能評価手法に関する確率論評価手法が示されており、4 段階の主要な解析ステップが記述されている。それらは、Hazard analysis（地震動の強さを評価）→ Structural analysis → Damage analysis → Loss analysis である。

続いて、河野委員より、資料 No.WG2-1-2 にもとづいて、PC 梁部材の残留曲げ・せん断ひび割れ幅の研究の現状が説明された。以下に、概要を示す。

- (1) 本資料は建築学会のプレストレスコンクリート（PC）関連の委員会の報告書から抜粋したものであり、内容も PC および PRC（プレストレス鉄筋コンクリート）に関するものが多く、一部 RC に関して触れている点にご注意いただきたい。
- (2) 限界状態を決定し、性能評価型設計へ移行する中で、ひび割れ幅に関わる損傷限界の検証が必要である。RC では、すでに指針において残留ひび割れ幅の具体的な数値が部材において達成すべき目標値として設定されている。一方、PC ではひび割れに関して不明な点が多く、残留ひび割れに関する資料も少ないため、ひび割れ幅の制御目標を設定するには至っていない。
- (3) PC において、曲げひび割れ幅に関しては長期に対する資料が多く、多くのひび割れ幅算定式が提案されている。しかし、これらの算定式による計算結果はバラツキが大きい。
- (4) せん断ひび割れに関しては、PC の場合、せん断ひび割れを許容しないため、従来は予測をしても意味がないと考えられており、現状においては分からないと言わざるをえない。PC のせん断挙動は複雑であり、評価が難しく、制御も当然難しいと思われる。
- (5) 以上の点を考慮して、本資料では PC・PRC 部材に関する曲げ・せん断ひび割れの研究成果をまとめるとともに、残留ひび割れ幅が部材の残留性能に与える影響やひび割れ幅の測定に関する研究例についても触れている。

最後に、斉藤委員より、資料 No.WG2-1-4 にもとづいて、土木学会における鉄筋コンクリート部材の損傷と評価指標に関する説明が行なわれた。以下に、概要を示す。

- (1) 土木構造物に関する耐震設計法では、部材のじん性率を用いて修復性や復旧性を照査していると考えられる。しかし、この場合には多くの問題点が存在する。例えば、①損傷箇所

の特定が事前に必要，②損傷状況との関係が不明瞭，③軸方向鉄筋の降伏以外の損傷を表現不可，④じん性率が同一ならばすべて等しい損傷状況，⑤損傷過程の把握が困難 等である。

- (2) 資料中の表 3.3.1 に「鉄筋コンクリート部材の特性，損傷および補修工法の関係」が示されているように，部材の損傷状態が分かれば損傷レベルを評価することができ，さらに補修工法と結びつけることができる。

3. WG2 の活動について

北山幹事，白井委員長，河野委員および斉藤委員の説明に対する質疑および WG2 の活動内容について議論を行った。以下に，議論の内容を整理する。

- ・河野委員の資料では，PC のひび割れ幅を取り扱っているが，PC の残留ひび割れ幅と RC の残留ひび割れ幅の間には，相対関係が認められるのか？（白井）
- ・基本的には鉄筋の応力度が分かればひび割れ幅が推定できるので，両者の間には相対関係があると思われる。（河野）
- ・せん断ひび割れ幅に関して，土木の示方書で何らかの規定がされているのか？（北山）
- ・せん断ひび割れ幅については特に規定はされていないと思う。（岡野， 斉藤）
- ・北大の上田多門先生の研究は？（北山）
- ・上田先生の研究は，ひび割れ幅の評価を目的にしているのではなく，せん断耐力式への反映を考えていると思われる。（斉藤）
- ・白井先生の資料にある「性能評価型耐震設計の視覚化」の図に描かれている Casualty rate や Downtime 等が面白い。でも，それらの値を決めるのは難しいように思う。（北山）
- ・東大の塩原先生は比較的これと同様の考えを持っているようである。（白井）
- ・斉藤先生の資料の内容は，土木の示方書等に反映されているのか？（北山）
- ・鉄道関係の設計には資料の内容が反映されており，資料とほぼ同様の考え方で設計が行われている。（岡野）
- ・土木では長大構造物が多いが，全体系の損傷をどのように評価するのか？（北山）
- ・性能は全体系を考えるが，最後の照査の部分で部材の損傷を評価する。（岡野）
- ・建築の耐震性能評価指針では，部材の復元力特性と限界状態（損傷度）の関係を示されているが，土木も建築と考え方は大体同じである。（岡野）
- ・報告書の第 2 章は河野委員と斉藤委員の資料をベースにすれば良いだろうか？（北山）
- ・私の資料はひび割れ幅に特化している。他に，損傷評価のツールに触れる必要があると思うし，現状のまとめを行う必要がある。また，耐力や変形など一般的な内容を重点的に報告書に記載すべきだろう。（河野）
- ・「損傷とは何か？」という点についても考える必要がある。保険の場合，お金に関する部分すべてが損傷であるし，構造の立場では当然それとは異なる。この点について，既往の研究を調査する必要があるだろう。また，WG2 でも取り組む範囲を決めておく必要がある。（河野）
- ・新潟県中越地震の場合，破壊の状態に応じて補助金を決めている。ただし，破壊状態の判定は，応急危険度判定をそのまま用いるのではなく，県の職員や県に委託された業者が行っている。いずれにしても，これも損傷評価であると言えるだろう。（北山）
- ・ここで，報告書目次案の第 1 章に示した 3 項目をすべてやるべきか考えましょう。（北山）

- ・ 損傷の測定技術を中心にして良いのでは？（斉藤）
- ・ 工学的に意味を持つ物理量に限定してみるということか？（北山）
- ・ 例えば、コストに関する内容は WG1 で議論されている。（斉藤）
- ・ 北山先生の資料にある表 7.2.5 を見ると、部材に関する内容に比べてかなり割り切っていると思われるが、これは何故か？ただ単純に分からないのか、それともいろいろ検討の結果、あえてこのようにしているのか？（白井）
- ・ 様々な検討をしたが、確定するまではいたらなかった。実際にはよく分からない部分が多く、過去の地震における被害とのイメージをベースにしてつりあいをとっている。（北山）
- ・ やはり、部位から層や全体の評価は難しい。（白井）
- ・ 斉藤委員の資料の最後にある、「なお、有限要素解析等により、材料の損傷状況を推定する技術は一部で実現されており」とあるが、これはどういうものか？（白井）
- ・ 示方書にある部材の残存剛性のことか？それとも一般的な話か？よく分からない。（斉藤）
- ・ JCI 野口委員会の損傷評価 WG で活動を通じて、何か足らなかった事項はあるか？（北山）
- ・ 何を損傷とするかという「損傷の定義」や損傷を評価するためのツール（算定式）に関する検討が不足していたように思う。（河野）
- ・ ひび割れ幅は材料や部材に関する損傷であるが、全体系における損傷ではない。また、全体系における損傷としては、残留変形などが考えられる。このような損傷の種類についても整理が必要ではないか？さらに、各損傷に関する情報の使い道についても整理が必要であろう。（斉藤）
- ・ 確か、耐震性能評価指針に関する資料が建築学会大会の PD で、全体系、層、部材と損傷の対応付けを整理した表があったと思う。（河野）
- ・ 損傷評価を行うにあたって、どのような情報が欲しいか？この点を明確にする必要がある。「情報として何が必要か？」と「得られた情報をどう使うか？」の関係が非常に重要である。（岡野）
- ・ 報告書の第 3 章で記述する「損傷評価の先にあるもの」をまとめることが重要ではないか。目指すところが見えていなければ、今何をすべきかが見えてこないと思う。（岡野）
- ・ 京大建築グループでは、コストに関する部分をきちんとやろうと考えている。土木の場合は、コストを問わず絶対に復旧しなければならないが、建築の場合は復旧にかかる費用が大きな問題となる。（河野）
- ・ 今年度は、このような議論を通じて課題を多く出すのが一番の目的であると思う。（岡野）
- ・ 損傷の定義など、JCI 野口委員会とは違った切り口で書く必要があるか？（北山）
- ・ JCI 野口委員会の報告書は良く書けていると思う。（河野）
- ・ 既存の研究の調査は、どの程度まで行うか？（北山）
- ・ まず、各委員の身近な文献リストを、過去 5～10 年程度で作成することにしましょう。（北山）
- ・ 文献リストを作成するときに、キーワードも示すべきである。（斉藤）
- ・ 報告書第 3 章で記述する「限界状態を明瞭に定めること」は重要である。これは、構造物毎に異なる。（岡野）
- ・ 同じく第 3 章にある「損傷を制御できる新しい設計手法の開発」だが、損傷を制御することを考えた場合、できる構造物とできない構造物に分かれる。デバイスを組み合わせることによって損傷を制御するという考え方もあるかも。（河野）
- ・ 損傷を集中させるという考え方もあるので、修復が容易な部分を損傷させるという考え方もできる。（斉藤）

- ・第3章の内容は他のWGとも絡むと考えられる。すべてのWGに関係するキーワードが損傷であると思う。(斉藤)
- ・土木構造物では、ひび割れを放っておくと劣化するのか？(白井)
- ・劣化が予測されるので、必ず検査員が確認をしている。(岡野)
- ・ひび割れに関して、耐久性に関連した研究は多いが、地震との関連はまだ少ない。最近では、腐食した鉄筋を有する部材の実験が行われるなど研究が行われ始めている。(白井)
- ・原則として、鉄筋を腐食させないという考えが基本であるため、これまであまり研究が行われて来なかったのだろう。(斉藤)
- ・土木構造物で、補強した後で被災した例はあるのか？(北山)
- ・最近では、新潟県中越地震で鋼板巻き立て補強したJRの高架橋に若干の被害があった。ただ、被害の判断は立場によって異なっている。(岡野)
- ・外乱を受けて補修した構造物がどういう性能になっているのか、実はあまり知らなかったというのが現状であると思う。(斉藤)
- ・具体的に報告書の作成に関して、第1章に関連する部分は河野先生に書いていただく。第2章は各委員が担当する。第3章については、多少内容を北山が内容を追加して各委員に伺うことにする。(北山)
- ・損傷の具体的なキーワードとしてひび割れ幅や残留変形があるが、それらが何に影響を及ぼすのかを明確にし、さらにコストの話を加えた具体的なイメージ資料を作成する必要がある。(斉藤)
- ・これは、第1章に加わると良い。損傷のレベル分けも含めて、斉藤委員に担当していただくことにする。(北山)
- ・損傷の具体的なキーワードについては、JCI 野口委員会で抜き出しているのを参考にさせていただきたい。(河野)
- ・耐震性能評価型指針に関するまとめは北山が担当する。土木の示方書に関するまとめは、岡野委員に担当していただく。(北山)
- ・各委員の活動に関する資料を12/6に提出すること。もしくは事前に北山へ。(北山)

以上