

委員会報告 近年の被害地震におけるコンクリート建造物の耐震性能評価 研究委員会の活動

菅野 俊介*1・荒木 秀夫*2・中村 光*3・林 康裕*4・米倉 亜州夫*5

要旨：本研究委員会は、2000年鳥取県西部地震や2001年芸予地震等の近年の地震によって被災したコンクリート建造物に入力した地震動を、地盤特性や地震観測記録等に基づいて推定し、それらの地震動を受ける建造物の耐震性能を種々の解析法を用いて評価することにより既存の耐震性能評価法の適用性を検討した。また、これらの地震による被災建造物の復旧事例や兵庫県南部地震以降開発された耐震補強技術を調査し、技術資料にとりまとめた。

キーワード：被害地震，地震動評価，耐震性能評価，建築建造物，土木建造物，復旧，補強

1. はじめに

2000年鳥取県西部地震や2001年芸予地震において観測された地震加速度の大きさに比べてコンクリート建造物の被害が少なかったことから、本委員会（下表）では、①地盤を考慮して建設地の地震動を推定する、②既存の評価手法による耐震性能と被害との関係を検討する、③被害

が少なかった理由を明らかにする、④耐震性能評価法向上のための提言を行う、ことを目標として調査研究を進めてきた。本稿では、①地震動評価（WG3）、②建築建造物の耐震性能評価（WG1）、③土木建造物の耐震性能評価（WG2）、④コンクリート建造物の復旧・補強技術（WG4）の4つの観点から調査結果の概要を報告する。

表 1.1 委員構成

委員長	菅野俊介（広島大学大学院）
副委員長	田村和夫（清水建設（株）技術研究所），睦好宏史（埼玉大学工学部）
幹事	荒木秀夫（WG1主査 広島大学大学院），中村 光（WG2主査 名古屋大学大学院），林 康裕（WG3主査 京都大学防災研究所），米倉亜州夫（WG4主査 広島工業大学）
委員	稲井栄一（山口大学工学部），前田匡樹（東北大学大学院），星隈順一（（独）土木研究所），永野正行（鹿島建設（株）小堀研究室），隈澤文俊（芝浦工業大学工学部），岸本一蔵（大阪大学大学院），大田和彦（近畿大学工学部），楠 浩一（（独）建築研究所），村岡七重（東京大学大学院），秋山充良（東北大学大学院），堀 淳一（東京工業大学），高橋良和（京都大学大学院），牧 剛史（埼玉大学工学部），伊藤 睦（名古屋大学大学院），斉藤成彦（山梨大学工学部），小林 薫（東日本旅客鉄道（株）），重政博昭（極東工業（株）技術本部），神原 浩（清水建設（株）和泉研究室），岩井 哲（広島工業大学工学部），森伸一郎（愛媛大学工学部），椋山健二（広島大学大学院），新井 洋（（独）防災科学技術研究所），寺井雅和（福山大学工学部），神野嘉希（西日本旅客鉄道（株）），紫桃孝一郎（日本道路公団），金治英貞（阪神高速道路公団）

2 地震動評価（WG3）

2.1 2000年鳥取県西部地震の地震動評価

(1) 日野町：最も甚大な被害を被った震源近傍の日野町を対象として、地震動強さの評価を行った。まず、微動の移動1点観測と表面波探査を行って地盤S波構造の推定を行い、地震動増幅特性について検討した。その結果、表層地

盤の卓越周期は0.2~0.5秒で、約1秒が卓越した震源域の地震動特性に大きな影響を及ぼさないこと、また、日野町の地震動強さは震源近傍のKiK-net観測点（TTRH02）の観測地震動と同程度（1m/s以上）と考えて矛盾しない事を示した。
(2) 境港市：震源から離れていながら甚大な被害を被った境港を対象に地震動推定を行った。

*1 広島大学大学院教授 工学研究科 社会環境システム専攻 工博（正会員）
*2 広島大学大学院助教授 工学研究科 社会環境システム専攻 工博（正会員）
*3 名古屋大学大学院助教授 工学研究科 土木工学専攻 博（工）（正会員）
*4 京都大学防災研究所助教授 総合防災研究部門 工博
*5 広島工業大学教授 工学部建設工学科 工博（正会員）

まず、境港において微動の移動1点観測を行い深部地盤の2次元S波速度構造を推定した。推定された地盤構造に基づいて2次元および1次元地震応答シミュレーション解析を行い、実際の被害分布および地震記録との比較から、被害地域近傍の地震動は深部地盤の2次元応答の影響は小さく、深部および表層地盤の1次元非線形応答の影響だけでほぼ説明できる事を示した。

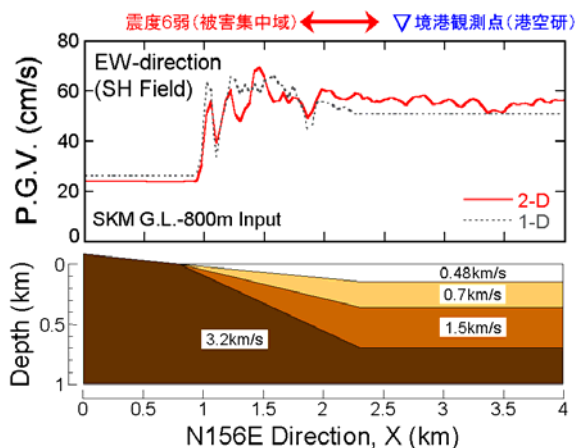


図 2.1 工学的基盤上面での最大速度分布
(本震地震のEW方向)

2.2 2001年芸予地震の地震動評価

(1) **三原市**： 木造住宅被害の集中や新幹線高架の被害が見られた三原市を対象として、まず、微動の移動1点観測や表面波探査を行って地盤S波構造の推定を行った。そして、推定地盤構造が地震動特性、ひいては被害に及ぼした影響について分析を行った。その結果、地盤構造の不整形性によって木造住宅の被害域が生じた事、また、被害域の最大地動速度は概ね 0.2m/s 程度であったが、地盤の非線形増幅特性により約 1秒の地震動成分が大きく増幅した事が被害発生に関係した事を指摘した。

(2) **広島市**： 広島市における木造住宅の被害状況調査の結果、丘陵造成地の盛土部で切土部よりも瓦屋根被害が多く現れる傾向が見られた。丘陵造成地盤の振動性状を常時微動計測により調べたところ、水平動の上下動に対する比(H/Vスペクトル)の特性において、盛土部と切土部で違いが見られることが認められた。切土地盤ではH/Vスペクトルで特に卓越する振動数はなか

ったが、盛土地盤では3Hz付近が卓越しており、地盤の卓越振動数が木造住宅の建物固有振動数にかなり近く、住宅の共振による振動の増幅も窺わせる結果となった。

2.3 やや長周期地震動評価と長周期建物の応答

2000年鳥取県西部地震時に発生し神戸地域で長周期建物に影響を及ぼしたやや長周期地震動を



図 2.2 屋根被害・地盤と常時微動計測地点
(西区己斐上5丁目)

対象に、本地震時の震源から大阪平野に至る地盤構造を用いた3次元波動伝播解析を実施した。また神戸に建つ超高層RC住宅を対象に非線形応答解析を実施した。この結果、神戸直下に存在する深部地盤の段差構造によりやや長周期地震動が増幅したこと、これが超高層RC住宅の地震時応答に影響を与えたことを示した。

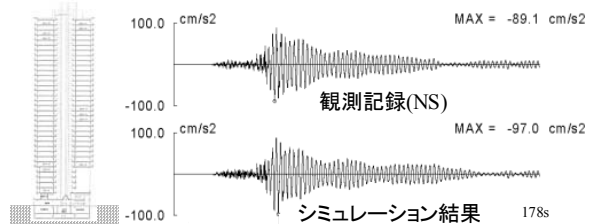


図 2.3 鳥取県西部地震時における
超高層ビル(神戸)のシミュレーション

2.4 アンケート調査に基づく非構造被害と地震動強さの関係

鳥取県西部地震と芸予地震による建物被害に関するアンケート調査を地震観測点の周辺建物を対象に行い、非構造部材の被害と地震動強さとの関係について調査した。

非構造部材の被害率は1980年以前の建物で高く、計測震度5以下では壁ひび割れ等が発生し、計測震度5以上では多くの部位に被害が発生し

た。一方、1981年以降の建物では、計測震度5以下ではほとんど被害はなく、計測震度5以上でも壁ひび割れなどを除いて被害率は低かった。

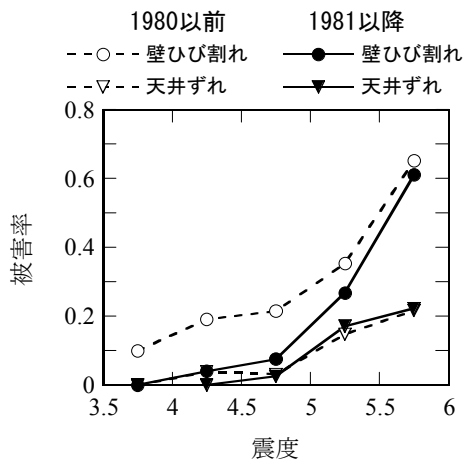


図 2.4 計測震度と非構造被害率の関係

3 建築構造物の耐震性能評価 (WG1)

3.1 はじめに

近年、相次いで発生した地震において、多くの強振動記録が得られ、数箇所では高レベルの加速度も観測されたにもかかわらず、建物被害はそれほど大きくない。被害建物や強震動域内の無被害建物を従来の計算方法で評価してみると、その現実の状況(被害、無被害)との整合性はあまりよくない。また、被害累計においても同程度の震度を想定する地震被害想定調査報告の結果とも大きくかけ離れたものといわざるを得ない。本 WG1 では建築物の耐震性能評価法を地震被害に基づいて再検証し、新評価法提案のための基礎的データ蓄積を目的としている。

3.2. 近年の地震と RC 建物被害の関係

(1) **RC 建物被害の概要**：近年の地震の大きさとその被害の概要に関する検討を行った。1995年兵庫県南部地震以降、震度6以上が6、RC建物の被害の大きかった鹿児島県北西部地震1997.3.26(震度5強)を加えると7つのものがあげられる。記録された最大加速度は鳥取県西部地震の1482galであり、兵庫県南部地震における海洋気象台の881galを大きく上回る。建物が受ける被害は入力エネルギーとの関係で論じられなければならないが、その被害はこの地震

を見る限り中小破数棟しかなく、兵庫県南部地震と比べるとあまりに少ない。また、逆に被害を受けた建物の周囲では被害が見られないケースも多く、その被害要因も明らかにされる必要があると考えられる。

(2) **近年の地震被害に関する検討**：兵庫県南部地震以降、日本各地で多くの地震が発生し、それに伴って数多くの強震記録が公開されている。しかし、建物の被害規模は記録された最大加速度や最大速度と比較して必ずしも一致していない。そこで、鳥取県西部地震、芸予地震、三陸沖地震、宮城県北部地震、釧路地震の際にK-Netで観測された強震記録を用いて、加速度応答スペクトル、要求曲線、入力エネルギーおよび1質点系弾塑性解析により強震記録と建物被害の関係について考察を行った結果、多くの場合は強震記録の卓越振動と建物の周期の関係から、要求曲線や入力エネルギーによって評価することにより、被害程度をある程度評価することができた。しかし、幾つかの強震記録では、実被害を上回る被害程度を示した。

強震記録の取り扱いについては、地震後もその強震計が適切な状態にあったことを確認する必要がある。また、強震記録の殆どは、ある1点での強震記録であり、その周囲の建物であっても、相互作用や地盤特性の影響により同一の地震動が入力ない可能性もある。今後は、建物の強震記録を含めた計測網の整備が望まれる。

3.3. 個別建物の耐震性能評価および調査・検討

本 WG1 では2000年鳥取県西部地震および2001年芸予地震の被害建物および無被害建物を抽出し、耐震診断や静的および動的解析を加えその耐震性について検討した。

(1) **溝口町役場・溝口小学校**：鳥取県西部において推定断層から北東に約12kmの位置にある溝口町役場は被害を受け、溝口町役場から南に約300mの位置にある溝口小学校は無被害であった。溝口町役場と溝口小学校に建物に作用した地震動を推定し、静的増分解析と地震応答解析を行った。解析結果によると、溝口町役場は偏心の影響に

より建物1階の西側がX方向に大きく変形しており、実被害も1階西側の1, 2, 3通りのX方向に被害が集中していた。溝口小学校にも曲げひび割れが多く見られたが、偏心がほとんどなく、溝口町役場よりも層間変形が小さい。このことから溝口町役場の被害要因には偏心が大きく関わっていたと考えられる。また、溝口町役場では変形の最も大きな箇所に施工不良の柱があったため、大きな被害を受けたと考えられる。

(2) 西条農業高等学校： 芸予地震では同じ敷地内に立地し同様の構造形式にも拘わらず被害程度の異なった広島県立西条農業高等学校の校舎2棟を対象として、柱のせん断破壊による耐力低下を擬似的に考慮した静的弾塑性解析を行い、せん断破壊後の耐力低下が建物の耐震性能に与える影響を検討した。実測されたコンクリート強度を用いることで南棟は2階、北棟では1階の柱のせん断破壊が先行し、南棟の損傷がより大きく現れ、実際の被害状況と良好な対応を示した。また、使用するコンクリート強度によって崩壊機構に違いが生じることを確認した。また、柱ヒンジの発生状況から、せん断破壊の進展により建物が崩壊に向かう様子を確認した。

(3) 沖美町役場： 芸予地震によって被災した沖美町役場庁舎の被害調査結果と、同建物において最も被害が顕著であった南構面中柱の破壊に関して考察した。

南構面中柱の破壊は、建物が旧基準で設計施工されていた上に、長い年月の間に瀬戸内海の海水をかぶることによって、コンクリートの中性化が進行し、建物部材の耐力が相当低下していたことが主因であると思われる。1階中柱のせん断破壊に関してはそれ以外に構造計画上の問題点もあった。すなわち、1階中柱のせん断破壊は、中柱の地上2mの位置からせり出している方持ち梁に屋外階段を取り付けてしまったことが、1階中柱下部に強制変形を生じさせ、せん断破壊を起こさせたものと推察される。今回の解析は、弾性解析ではあるが、中柱とは別に階段の鉛直荷重を受け持つ柱を取り付けていれ

ば、中柱の負担せん断力はかなり低減される結果になっているので、今回のように中柱は激しく破壊することはなかったと考えられる。一方、2階中柱柱脚の破壊要因として直交梁の存在の有無を取り上げたが、本来の部材耐力を持つ建物であれば、これが破壊要因になることは通常あり得ないと思われる。しかし、本建物では部材耐力が相当低下していた上に、切り土と盛り土の整地の上にコンクリート壁が切り土側に多く配置されていたので、建物全体がねじれ振動を起こし、建物南側では相当な変形が生じたことが容易に想像され、このような悪条件が重なったことが被害を大きくしたものと思われる。

3.4. 耐震診断法の調査・検討

兵庫県南部地震以降、各地で精力的に耐震診断が進められたことをうけて、芸予地震では、震源から近い呉市で事前の耐震診断結果と実際の地震による損傷の関係について、直接的な比較が可能となった。そこで、呉市の小中学校の全棟に対し被害調査と常時微動観測を実施し、立地場所による入力地震動の違いを考慮して耐震性能と建物被害の関係について分析を行った。

その結果、建物に必要とされる構造耐震指標 I_s が0.6以上ある校舎は全体の約2割で、 I_s の十分でない校舎が多く存在するが芸予地震では無被害の校舎も多かったことがわかった。また、同程度の耐震性能をもつ校舎であっても、地盤特性により損傷の程度が異なった。芸予地震では短周期の地震動が卓越し、建物固有周期と地盤卓越周期がこれと重なるようなところでは耐震性能が高い校舎であっても損傷を受けている。したがって、耐震性能と被害の関係を分析するときには、地盤特性を考慮する必要がある。

3.5. まとめ

建築物の耐震性能評価法を地震動や建物被害に基づいて再検証した結果、①建物が立地する地盤の振動性状、②施工上の瑕疵や耐久性低下、③構造計画上の問題点、などが建物固有の耐震性能に重大な影響を与える場合があり、これらを考慮した評価法の開発が望まれる。

4 土木構造物の耐震性能評価 (WG2)

4.1 概要

WG2 では、芸予地震により被災した山陽新幹線高架橋を解析対象に選択し、(i)骨組解析(材端バネモデル)、(ii)ファイバー解析、(iii)有限要素解析、(iv)剛体バネモデル、の各解析手法を用いて被害分析を行い、この種の高架橋の合理的耐震設計法のあり方などを検討した。

4.2 被害分析に用いる構造解析手法

前記した4つの解析手法のうち、材端バネモデルによる骨組解析では、Takeda 型の履歴復元力モデルに従うモーメント-回転角関係を用いた。

ファイバー解析で使用したコンクリートや鉄筋の履歴則などは、参考文献¹⁾と同様である。

有限要素解析は、2つのモデルを用いて実施した。一つは、名古屋大学で開発された格子等価連続体モデルと称される構成式が導入された有限要素解析手法²⁾であり、橋脚下端固定の条件で解析する際に用いている。地盤の影響を考慮する場合には、東京大学で開発された有限要素解析モデル^{3),4)}を用いた。

剛体バネモデルは、離散型の解析手法の一つであり、ひび割れのような材料の不連続現象を直接的に表現できる。解析手法の詳細は参考文献⁵⁾などを参照されたい。

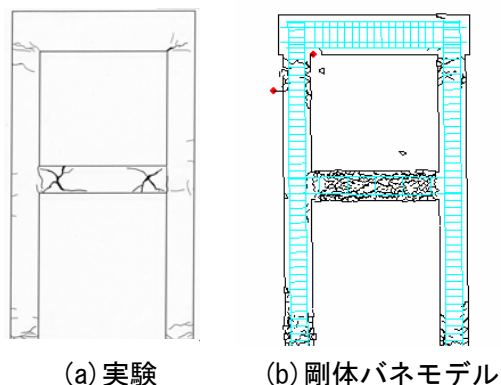


図 4.1 ひび割れ性状の比較(A-3 供試体)

4.3 ラーメン橋脚仮動的実験のベンチマーク解析

埼玉大学では、新幹線 RC2 層ラーメン橋脚を模した縮尺 1/6~1/7 程度の供試体の仮動的実験を4体実施している⁶⁾。WG2 では、このうち、A-2、

A-3 供試体の再現解析を実施することで、前記した解析手法の妥当性を検証した。

解析結果の一例を図 4.1 に示す。これは、実験終了時のひび割れ性状を剛体バネモデルにより再現したものである。中層はりでせん断破壊が生じる様子を解析は良く再現している。他の解析手法でも、橋脚天端位置の荷重-変位関係などの比較を行い、RC2 層ラーメン橋脚の仮動的実験の結果を概ね再現できることを確認した。

4.4 芸予地震で被災した山陽新幹線の被害分析

(1) 山陽新幹線高架橋被害の概要

芸予地震により被災した山陽新幹線高架橋のうち、大きな被害は三原駅西部宮浦地区にある第1、第2 高架橋である。高架橋損傷本数は146本で、このうち12の高架橋にはせん断破壊によるかぶりコンクリートの剥落が生じていた。

WG2 では、せん断により中層はりに斜めひび割れが発生し、かぶりコンクリートの一部が剥落した R7 高架橋と、幅数 mm 程度のせん断ひび割れが中層はりの一部に生じた R1 高架橋を解析対象に選択した。R1、R7 高架橋は、ともに RC2 層ラーメンである。R7 高架橋の被災状況を図 4.2 に示した。



図 4.2 R7 高架橋の被災状況

(2) モデル化の概要と入力地震波

R1 および R7 高架橋の設計図とその計算書をもとに、構造・断面諸元や死荷重などを特定した。材料強度は、設計計算時の値を用いた。地盤は、地質柱状図の N 値より推定した初期せん断剛性とせん断強度を基にモデル化した。橋脚-杭-地盤を一体化した解析モデルの一例を図 4.3 に示す。地盤領域側面の境界条件はエネルギー吸収境界とし、底面は粘性境界を設置している。

解析に用いた入力地震波は、WG3 の検討結果より、橋脚下端固定の条件で解析する際には、JMA 三原で観測された波(JMA 三原波)を用いた。橋脚－杭－地盤を一体化した解析を行う際には、K-net(HRS017 地点)波を工学的基盤面に入力した。

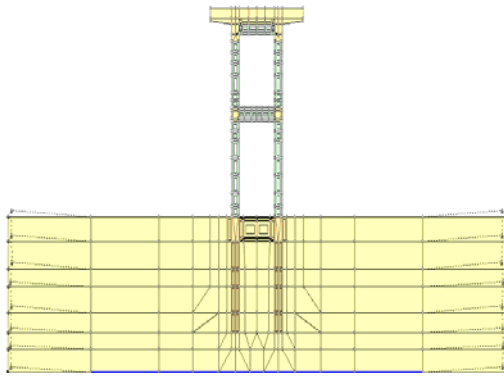


図 4.3 解析モデルの一例 (R7 : 橋軸直角方向)

(3) 静的・動的解析結果

プッシュオーバー解析により、被災高架橋の崩壊過程を検証し、その後、前記した地震波を用いた動的解析により、被害の再現を試みた。

ファイバー解析により得られた R7 高架橋の橋軸方向および橋軸直角方向の中層はりのせん断耐力と作用せん断力の時刻歴を図 4.4 に示す。橋軸直角方向では、中層はりでせん断破壊が生じると判定されたのに対し、橋軸方向では、せん断破壊と判定された部材はなかった。また、橋軸方向、

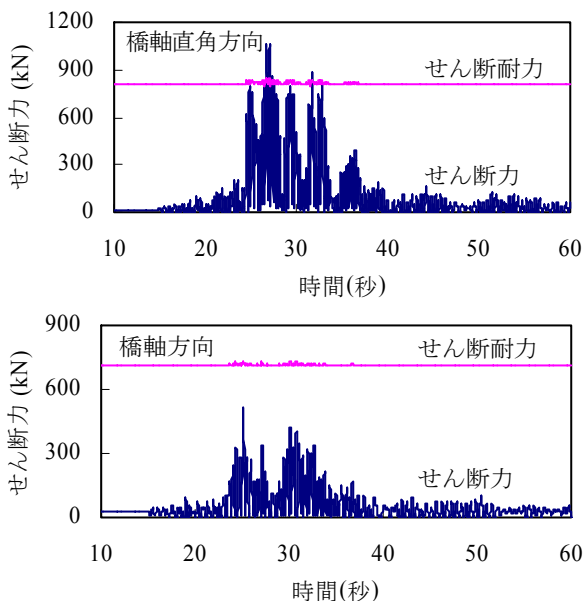


図 4.4 R7 高架橋の中層はりの破壊判定

橋軸直角方向ともに曲げ降伏した部材はない。このように、今回用いた解析手法により、概ね被災状況を再現できることが確認された。

(4) 被災高架橋の fragility curve の作成

被災した R7 高架橋の橋軸直角方向を対象に、動的解析に関するパラメータの不確実性を考慮した Monte Carlo 法により fragility curve を作成し、その耐震安全性レベルを定量化した。fragility curve とは、任意の大きさの荷重(ここでは、地震動強度)の作用に対し、ある被害程度が生じる確率を表わしたものである。考慮したばらつきは、材料強度、せん断耐力算定式、および減衰定数などである。これらの統計量は、実験値と計算値の比や、実測データなどをもとに決定している。

fragility curve の一例を図 4.5 に示す。R7 高架橋の橋軸直角方向に作用した地震動の最大加速度は 250Gal 付近と思われ、その場合には、種々の不確実性を考慮した上でも、中層はりには部材せん断耐力を上回るせん断力が作用する可能性が高く、一方で、ほぼ曲げ降伏する部材はないと判断される。この結果は、動的解析に関わる各パラメータを平均値を基に設定すれば、R7 高架橋の被災状況を再現できることを意味している。

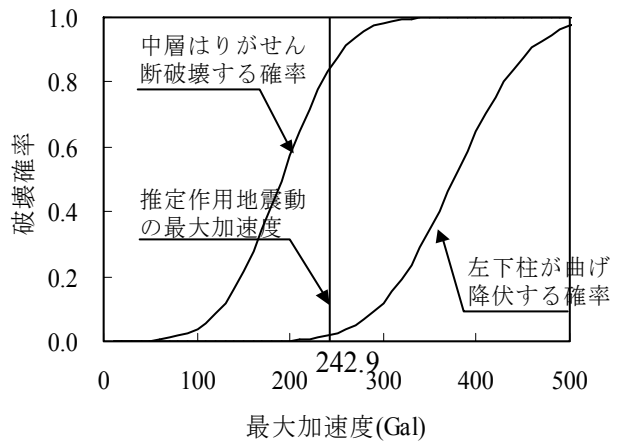


図 4.5 R7 高架橋(橋軸直角方向)の fragility curve

(5) 中層はりの破壊が 2 層ラーメン高架橋の地震応答性状に与える影響

R7 高架橋を参考に設計した 2 層ラーメン(基本構造)を用いて、中層はりの破壊が高架橋の耐震性能に及ぼす影響を検討した。用いた解析手法は、

剛体バネモデルであり、解析結果の一例を図 4.6 に示す。これは、基本構造に対し、曲げせん断耐力比を一定のまま、中層はりの曲げ耐力とせん断耐力を増減させた高架橋より得られた結果である。中層はりの耐力を 0.5 倍とした場合には、中層はりは大きく損傷するが、柱の損傷を小さく抑えることができ、結果として、地震後の残留変位はほとんど生じない結果となった。

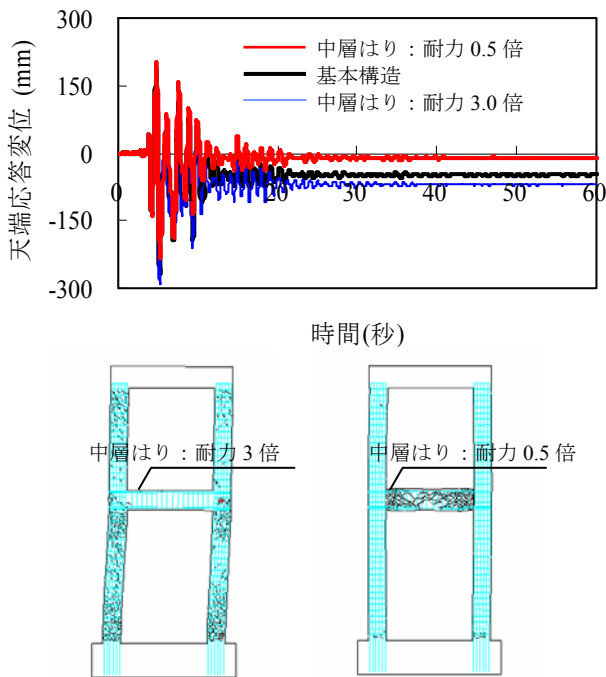


図 4.6 中層はりの破壊の影響

図 4.6 に示されるように、中層はりの破壊は高架橋全体の応答性状に大きな影響を与える。そのため、耐震設計時には、はりと柱の耐力格差などに注意し、適切に損傷を分担させる必要がある。

参考文献

- 1) 秋山充良ほか：軸方向鉄筋の座屈発生点に対応した終局曲率の簡易算定法および RC 柱と SRC 柱の靱性評価への適用，土木学会論文集，Vol.725/V-58, pp.113-129, 2003.2
- 2) 田辺忠顕編著：初期応力を考慮した RC 構造物の非線形解析とプログラム，技報堂出版，2004
- 3) 岡村甫，前川宏一：鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則，技報堂出版，1991
- 4) 土木学会コンクリート委員会：阪神淡路大震災の被害分析に基づくコンクリート構造物の耐震性能照査方法の検証，コンクリート技術シリーズ 49，土木学会，2002.12
- 5) 斉藤成彦ほか：繰り返し荷重を受ける鉄筋コンクリート柱の RBSM 解析，構造工学論文集，Vol.47A, pp.735-742, 2001.3
- 6) 神山貴男ほか：大地震を受ける RC2 層ラーメン橋脚の地震応答性状，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.18, No.2, pp.281-286, 1996.6

5. 被災構造物の復旧・補強 (WG4)

5.1 概要

WG4 では、建築及び土木コンクリート構造物に関して、兵庫県南部地震以降出された旧建設省、運輸省、現在の国土交通省等からの通達、学会・協会の示方書及びその他関連機関の耐震補強の設計標準・指針の変遷をまとめた。また、鳥取県西部地震、芸予地震及びその後の地震で被災したコンクリート構造物の被災度・耐震性能・耐震補強について検討した事例を調査した。さらに、本協会より 1998 年と 2000 年に発行された耐震補強技術に関する技術書や委員会報告以降に開発された補強工法を調査し、開発の目的や工法の特徴等について検討し、アンケート調査で得られた各工法の概要を報告書に掲載した。

5.2 耐震復旧・補強技術の変遷

(1) 建築のコンクリート構造物

各協会の震災復旧・補強技術の事例、報告書、耐震改修設計指針に基づいて耐震復旧・補強技術の変遷をまとめた。特に、既存建築物の耐震性能の改善策として用いられる強度補強、靱性補強、損傷集中の回避、建物に入力される地震力の低減、基礎の補強等を考慮してまとめた。

(2) 土木のコンクリート構造物

コンクリート構造物の耐震補強、耐震性能にかかわる処置に関する旧建設省、運輸省、現在の国土交通省からの通達、学会及び協会の示方書、その他関連機関の設計標準・指針等から、道路、鉄道の耐震補強の変遷をまとめた。

5.3 被害・補強事例

鳥取県西部地震、芸予地震及びその後の地震で被災した建築、土木コンクリート構造物の被災度判定、耐震診断、耐震補強について記述した。代表事例を以下に記述する。

(1) 建築の被害・補強事例 1

鳥取県西部地震で被災した鳥取県堺港市内にある RC 造の 2 階建て及び 4 階建ての病院の例である。この報告では、柱のせん断ひび割れなどの被害概要を述べ、耐震診断結果や復旧・補強計画の概要を述べた。採用した補強工法は、

プレキャストコンクリート造ブレースの増設、耐震壁増設、コンクリートの増し打ちである。

(2) 建築の被害・補強事例 2

本事例は、芸予地震で非耐力壁及び柱のせん断ひび割れ被害を受けた広島市内にある大学の図書館の例である。本建物では、被災直後に機能回復のための補修工事がなされた。その後、耐力壁はほとんどないが構造計算で考慮されていない非耐力壁による偏心が大きいことが本建物の特徴であることを考慮して、耐震壁の増設と建物の偏心率の改善を図る補強が実施された。

(3) 建築の被害・補強事例 3

芸予地震で被災した愛媛県松山市内にある小学校の建物で鉄筋コンクリート造 3 階建ての事例である。建物の被害度は北棟、南棟共に中破と診断され、北棟は取り壊しを行い、南棟は補修・補強を行って継続使用することが決定された。鉄骨ブレースの増設、RC 造耐震壁の増設などの補強工法が検討された。

(4) 鉄道の被害補強事例

本事例は、芸予地震で被災した山陽新幹線高架橋の中層梁の被害状況と復旧についての報告である。高架橋の被害は、三原市、東広島市、広島市内の 2 層ラーメン構造で見られたが、特に被害の大きかった三原市内の宮浦地区に限定して被害概要が述べられている。

被災後の応急対策、復旧工事のために現地調査、解析が行われ、構造物単位で柱、中層梁の補強を行うことが検討された。また、三原市内で山陽新幹線と平行する在来線の高架橋については、1978 年宮城沖地震後に耐震の構造細目が定められた建造物設計標準（昭和 58 年）で設計された経緯等が報告されている。

5.4 補強工法の調査

平成 7 年 1 月の兵庫県南部地震以降、土木学会、建築学会、その他学協会及び諸団体の示方書や設計標準が最新の知見を取り入れて改定され、従来よりも高い耐震性能が要求され、検討すべき項目、内容も多くなった。耐震補強の分野では、耐震性能の要求事項、構造物の機能及

び用途、施工の制約条件、使用材料を考慮して多くの工法が考案され実用化されている。

本協会では、過去 2 回、開発された耐震補強工法の調査を行い、「コンクリート構造物の震災復旧・耐震補強技術と事例：(1998 年 8 月)」、「耐震補強の評価に関する研究委員会報告書：(2000 年 6 月)」にその結果を報告した。その後、既に 5 年が経過し、当時開発された工法の改良・改善が図られ、新たな工法が開発が行われていることを考慮して、アンケート調査を実施した。

今回の調査は、前回の調査方法、調査内容を踏まえて実施し、建築及び土木に共通する視点で調査結果を整理した。その内容は、補強対象部材・部位、開発の目標・目的、技術評価、施工実績等である。

(1) 建築の場合

開発対象となった工法は、柱補強、既存骨組へのブレースの増設、耐震壁の増設が多かった。開発目標は、施工及び設計上の観点から設定され、施工上の目標としては、店舗の移転及び引越しをせず、騒音・振動・粉塵がなく、低コスト、工期が短く、補強材が軽いこと、などが挙げられる。特に厳しい作業スペースの制約の中での施工を可能となる工法が注目された。設計上の目標として、靱性能の増大が挙げられ種々の工法が工夫されている。その他、工法開発における様々な制約条件についても言及した。

(2) 土木の場合

開発は、施工上の観点から建築と同様に工期短縮、低コスト、施工空間の制限、作業スペースの減少等を目標として工夫がなされている。設計上の目標として、曲げ耐力またはせん断耐力の向上だけでなく靱性能の改善を図るものが大半である。鉄道及び道路等の構造物における耐震補強工法の開発は各関連機関の設計示方書に制約され、それを踏まえた開発が進められている。特に興味深い点として、建築と違って公共構造物を対象としていることから、論文への掲載、特許、実績も着目されていることが確認された。