

委員会報告「2000年鳥取県西部地震および2001年芸予地震被害調査WG」

菅野 俊介*1、米倉亜州夫*2

<委員および報告書執筆者>

主査 菅野俊介	広島大学大学院 工学研究科 (2001年4月~2002年3月)	多賀谷宏三	高知高専 建設システム工学科
主査 佐藤立美	広島工業大学工学部 建設工学科 (2000年11月~2001年3月)	横井克則	高知高専 建設システム工学科
幹事 米倉亜州夫	広島工業大学工学部 建設工学科	福原安洋	呉工業高等専門学校 建築学科
委員 南 宏一	福山大学工学部 建築学科 (中国・四国支部耐震性小委員会委員長)	長友克寛	高松高専 専攻科 建設工学専攻
委員 鈴木計夫	福井工業大学 建設工学科	筒井一昭	国土交通省 中国地方整備局
中田慎介	高知工科大学社会システム工学科	永末英之	国土交通省広島港湾空港技術調査事務所
鎌田輝男	福山大学工学部 建築学科	平野毅志	日本道路公団 中国支社広島技術事務所
山本春行	広島大学大学院 国際協力研究科	中川道弘	広島県 土木建築部技術監理総室
荒木秀夫	広島大学大学院 工学研究科	石川雅基	島根県 土木部管理課技術管理室
椛山健二	広島大学大学院 工学研究科	松田好史	西日本旅客鉄道株式会社鉄道本部施設部
岩井哲夫	広島工業大学工学部 建設工学科	橋本 健	日本構造技術者協会 (JSCA) 中国支部
稲井栄一	山口大学工学部感性デザイン工学科	石原節夫	日本構造技術者協会 (JSCA) 中国支部
井上正一	鳥取大学 工学部土木工学科	田中博美	日本構造技術者協会 (JSCA) 中国支部
黒田 保	鳥取大学 工学部土木工学科	原田 勲	日本構造技術者協会 (JSCA) 四国支部
綾野克紀	岡山大学環境理工学部	重政博昭	極東工業株式会社 技術本部
氏家 勲	愛媛大学 工学部環境建設工学科	田坂昌博	極東工業株式会社 技術本部
在永末徳	近畿大学 工学部建築学科	河上隆司	(株)計測リサーチコンサルタント
森村 毅	近畿大学 工学部建築学科	大田和彦	近畿大学 工学部建築学科
		寺井雅和	福山大学 工学部建築学科
		裏戸 勉	元松江工業高等専門学校 土木工学科
			以上 38名

1. はじめに

2000年10月6日に鳥取県西部で深さ11km位置を震源とするマグニチュード7.3の地震が発生し、コンクリート構造物に被害が生じたことから、本会中国・四国支部耐震性小委員会(委員長 南宏一福山大学教授)の中に、建築・土木両分野のコンクリート構造物被害を総合的に調査・分析する作業部会が設けられた。さらに、本部研究委員会の下で研究専門委員会の一つとして、2002年3月まで活動することとなった。その後、2001年3月24日に広島県南部安芸灘で深さ51km位置を震源とするマグニチュード6.7の地震が発生し、再びコンクリート構造物に被害が生じたことから、この地震による被害の調査・分析も活動の中にも含めることとした。

この2つの地震によるコンクリート建築物の被害については、日本建築学会「鳥取県西

部地震災害調査委員会」および「芸予地震災害調査委員会」のもとで初動調査が行われ、調査結果の検討が進められている。コンクリート土木構造物の被害については、各県、国土交通省中国整備局、日本道路公団およびJR西日本により調査が行われ、さらに被害についてのアンケート調査も実施されている。

2. 2000年鳥取県西部地震による被害

2.1 コンクリート建築構造物の被害

調査建物全67棟を県別に見ると、島根県13棟、鳥取県43棟、岡山県11棟であり、用途別に見ると、校舎が圧倒的に多く、全棟数の70%を超える48棟を数える。次に多いのが庁舎・公民館で10棟あり病院が4棟ある。他用途の建物も5棟ある。

調査建物の被害は、大破・倒壊は1棟もなく、中破が3棟、小破が6棟となっており、いずれも山間地域の建物で築30年以上を経

過した古い建物である。主要な被害は柱のせん断破壊、せん断ひび割れであり、被害自体は過去の地震被害と異なるものではない。小破建物では、柱に軽微であるが明確な曲げひび割れまたはせん断ひび割れが生じていた。

中破・小破建物 9 棟を除く残り 58 棟の建物の多くは無被害で、微細なひび割れが観察されて軽微な被害と判断されたものもある。

調査地域ごとの被害状況を以下に述べる。

(a) 日本海沿岸の都市部 : これらの都市部では、液状化現象が多く見られたが、RC 造建物の傾斜や振動による大きな被害は見られなかった。米子市阿部彦名団地の鉄筋コンクリート 4 階建て共同住宅では、躯体の被害はないものの、液状化に伴う地盤沈下により、排水管等の切断被害が見られた。

(b) 震央を中心とする山間地域 : 山間部では鉄筋コンクリート造建物自体が少なく、町役場周辺の小学校、公民館、病院が主たる調査対象となった。主な被害は、中破 3 棟、小破 6 棟で倒壊したものはない。この他の建物では、外壁の軽微なひび割れ、突出部の剥落、窓ガラスの破損等の被害が見られたが、いずれも軽微な被害にとどまっていた。

2. 2 コンクリート土木構造物の被害

被害は、道路の損壊、崖・土砂崩れ等で、橋梁そのものの被害はごく小数で、軽微な被害にとどまった。その中で被害が比較的多かったのは鳥取県と島根県であった。鳥取県では、境港市や米子市の沿岸部で生じた液状化による地盤沈下、噴射や山間部の斜面崩壊が主であった。橋梁では、原田橋の落橋が最大の被害で、橋座、伸縮装置のずれ、支承部の破損、橋台・橋脚のクラック等が 20 の橋梁で発生した。島根県では、土工に関係した被害が主であった。伯太大橋と新田大橋の 2 橋の橋脚に無数のクラックが生じた。

以下に構造物や施設毎に被害状況を述べる。

国道 : 国道 9 号線で調査した橋梁 118 橋中、橋脚や橋台にひび割れを生じ、緊急補修が必要と判断された橋梁が 1 橋、早期補修が必要と判断されたものが 6 橋あった。

高速道路 : 調査橋梁数 246 橋中 50 橋が被災し、その内の 27 橋で支承に損傷を生じていた。他は、ジョイント後打ちコンクリート破壊、橋台背面クラック等であるが軽微な損傷で、上・下部工本体の被害は無かった。調査対象区間の橋梁のうち、昭和 55 年以前の道路橋示方書による設計は、中国自動車道のみで他の自動車道に比べて耐震性に劣るが、兵庫県南部地震後平成 8 年に改定された道路橋示方書の耐震レベルにするため耐震補強工事が順次進められていたためか被災率は 5%にとどまっていた。

鉄道 : 伯備線 黒坂～根南間（鳥取県日野町）を中心に土砂災害や落石による被害が多であった。伯備線は日野川に沿って走っており、70%以上が土工設備であることから土工関係の被害が大半を占めている。橋梁については、5 橋梁の 7 橋脚にひび割れが橋脚高さの半ば以下の位置に発生していた。その他、支承部に損傷を生じているものがあるが、特に問題となる被害はなかった。

港湾 : 境港の外港昭和南地区において、重力式岸壁 1 ヶ所、岸壁 2 ヶ所において、エプロンの陥没、ひび割れ等が生じた。エプロンのコンクリート舗装とアスファルトの舗装の境界部で 5～10cm の段差が生じた程度の軽微な被害であった。その他の港湾施設では、外港昭和北地区の岸壁（-6m）に大きな被害が生じた。これは液状化により上屋の柱基部周辺に最大 0.6m 程度の陥没が発生すると同時に、岸壁法線が湾曲しながら最大 1.3m 程度はらみ、上屋の柱が傾き半壊した。また、竹内工業団地では、埋立て地のため、大規模な液状化が発生し、水路幅が 2m 程度縮小し、河床が最大 1m 程度盛り上がっていた。

空港 : 米子空港では液状化現象が見られ、滑走路及び平行誘導路等において最大幅7.5cm程度のひび割れが発生した。

3. 2001年芸予地震による被害

3.1 コンクリート建築構造物の被害

調査建物144棟を用途別に見ると、校舎が圧倒的に多く、全棟数の70%を超える。次に多いのが庁舎・公民館であり、病院およびその他の用途の建物が数棟ある。また、学校等の公共建築物が圧倒的に多いが、マンションや店舗などの民間建築物も見られる。

被害程度は、大破・倒壊が3棟で、一部大破した柱を有する建物が2棟と、被災度判定基準による中破建物が1棟ある。これらの建物については詳細な調査が行われている。その他の建物は小破以下の被害か無被害である。

調査地域別の被害概況を以下に述べる。

(a) 岡山県と広島県東部 : 福山市、尾道市では計測震度が4~5強であったが、建築物において大きな被害は見られなかった。鉄筋コンクリート建築物の構造体被害はほとんどなく、天井の落下等非構造部材の被害が散見される程度であった。建築物以外では、RC造2層の展望台施設の柱が大破した。

(b) 東広島市とその周辺 : この地域には、震度6弱を記録した河内町、大崎町、熊野町が含まれている。多数の加速度記録が得られ、1000Galを超えるものもあるが、一部を除き大きな被害は見られなかった。大破被害の東広島市の学校建築は旧基準で設計され、被害は典型的な短柱のせん断破壊に起因した。

(c) 呉市とその周辺 : 震源に比較的近い呉市では、既に耐震診断が実施された1971年以前の学校建築194棟を中心に調査した。築40年の円形校舎の外壁が大破した他は、柱の一部に軽微なせん断ひび割れや曲げひび割れが散見される程度で、大きな被害は見られなかった。学校建築以外では呉市近郊島嶼部

にある2階建て庁舎が中破した。

(d) 広島市と広島県西部 : 広島市で震度5強を観測した他は震度4の地域である。補修・補強が必要とされる大きな被害を受けた3階建ての図書館建築の他は、顕著な被害は見られなかった。柱に軽微なせん断ひび割れや付着ひび割れを生じた学校建築が散見された。体育館のRC柱の柱頭部コンクリートが損傷した例もいくつか報告されている。

(e) 山口県 : この地域では、築40年以上の4階建て観光施設において、最上層の柱1本がせん断破壊した他、SRC造庁舎建築において最下階柱数本にせん断ひび割れを生じた。

3.2 コンクリート土木構造物の被害

土木構造物の被害は、主として広島県と愛媛県で発生したが、コンクリート土木構造物の被害はなかった。震度6以上の地域の国道、高速自動車道、県市町村道の橋梁の上部工、下部工、支承部の被害について、国土交通省、日本道路公団、広島県に依頼したアンケート調査の結果では、19橋が対象となったが、橋脚を有する橋梁は6橋、上部工形式は鋼桁(4橋)、PC桁(2橋)で、橋脚はすべてRC構造で被害はなく、適用基準の差も見出せなかった。

広島県での他の土木構造物の被害は、道路への落石、舗装の開口クラック、路側の崩壊等で、埋立地の臨港道路では、護岸と平行にクラックが発生した個所や液状化によるクラックからの噴砂があった。港湾では、三原市内須波漁港の防波堤の崩壊や液状化による護岸の腹み出し、段差の発生等があった。呉市では、急傾斜地の被害が多く、特に、住宅地の擁壁等の転倒、倒壊が生じ、放置すれば、今後の降雨等により、所有者以外の第三者に被害が及ぶ恐れがあるとともに、道路、公園、ガス、水道等の公共施設等への被害が懸念された。

橋梁等のコンクリート構造物の被害は、全

体としては軽微であったが、JR西日本山陽新幹線高架橋の中層梁（線路直角方向）に斜めのせん断ひび割れが197本発生していた。発生個所は、三原駅西の宮浦町付近のラーメン橋脚の146本が最も多く、連続的にせん断ひび割れが発生していた。このうち12本はかぶりコンクリートの剥落を伴う比較的大きな損傷であった。この新幹線に並行して走る在来線高架橋（一層ラーメン構造）では、特に被害は見受けられなかった。その他は、広島駅西部（38本）、東広島駅東部（9本）、廿日市地区（4本）であった。三原駅西部に特に被害が集中したのは、ここが、震源に近いことと昭和初期の干拓地でN値5以下が20m以上続く軟弱地盤であったことが関係していると考えられるが、ラーメン構造の配筋等からも検討する必要がある。復旧工事は、エポキシ樹脂の注入と柱・梁の鋼板巻き立て補強で行われた。

本州と四国を結ぶ西瀬戸自動車道のコンクリート構造物には、被害は生じていない。しかし、来島海峡大橋のうち大島よりの第一大橋では、メインケーブルと桁とをつなぐセンターステイのロッドが4本とも破断していた。これは、橋梁本体の損傷を防ぐための安全装置で、今回のロッドの破断は設計通りであったといわれている。

愛媛県では、多くの地点で震度5強が観測されているが、土木構造物や施設の被害は比較的軽微であった。道路では、道路護岸の変位による路面亀裂、落石、土砂崩壊、路肩崩壊などが発生している。河川では、堤防の亀裂発生、石積・ブロック積の崩壊などが主である。港湾施設では、岸壁や護岸の変位による亀裂や隆起が一部で発生した。

4. まとめと今後の課題

今回の2つの地震で被災した鉄筋コンクリート建築物の耐震性能について、耐震診断結果やコンクリート強度、施工状況などを基に

検討した結果は以下のようにまとめられる。

①構造耐震指標 I_s と被災度との関係は、兵庫県南部地震時の結果と類似している。②コンクリート強度が低い程損傷度は大きくなる。③材料・施工の欠陥の存在によって、もともと低い耐震性能しか持たない建物の被害がより顕在化したと考えられる。

鳥取県西部地震を受けた道路橋の耐震性能と被害との関係を検討した結果は次のようにまとめられる。①この地震の加速度応答スペクトルのピークが固有周期0.2~0.3秒付近にあるので、橋梁など固有周期が比較的長い構造物の応答は小さかったと考えられる。②過去の被害地震に比べて、この地震の最大加速度は比較的大きかったが、構造物被害と関係があるといわれているSI値（スペクトル強さ）が小さかったことが軽微な被害であった原因の1つと考えられる。③所要降伏震度スペクトルは過去の被害地震の場合より小さく、橋梁構造物に大きな被害を与える地震ではなかったと考えられる。

今回の鳥取県西部地震では、気象庁マグニチュード (M_j) = 7.3、モーメントマグニチュード (M_w) = 6.6、芸予地震では、 M_j = 6.7、 M_w = 6.8であり、いずれも兵庫県南部地震の場合の M_j = 7.2、 M_w = 6.9とそれほど遜色がないといわれている。また、観測された最大加速度は、神戸海洋気象台の場合にほぼ匹敵しているにもかかわらず、コンクリート構造物の被害が兵庫県南部地震の場合よりはるかに軽微であった。このことについて検討しておくことは、今後の耐震設計法、耐震性能評価法を考える上で極めて重要である。

この課題を受けて、本年6月に発足する新規研究委員会では、近年の地震による被災コンクリート構造物の耐震性能を、構造物に入力する地震動の評価も含めて検討することとしている。