

# 防災・減災の強化に向けた更なる耐震補強報告

## —中空断面 RC 橋脚の耐震性能照査—

(株) オリエンタルコンサルタンツ 正会員 ○富田 毅, 審良郁夫, 熊坂徹也, 澤井公哉, 八島孝太  
東日本高速道路(株) 佐々木俊樹, 藤沼祥規, 山内大輝

### 1. はじめに

高速道路では、地震によって被災しても速やかな復旧により緊急輸送路として機能させることが求められており、東日本高速道路株式会社では「更なる耐震補強」(平成28年熊本地震以降に実施する既設橋の耐震補強)に取り組むことで防災・減災に向けた耐震補強を実施している。本稿では「更なる耐震補強」対象橋梁のうち、塑性ヒンジ区間において中空断面を有するRC橋脚に対して耐震性能を照査した結果を報告するものである。

### 2. 対象橋梁の諸元

対象橋梁の側面図、橋脚正面図を図-1にP1橋脚の諸元を表-1に示す。対象橋梁はH6道示適用のPRC3径間連続ラーメン箱桁橋であり、一級河川を横過し、P1橋脚は河川流水部に位置する。P1、P2橋脚ともに橋脚柱基部まで中空断面を有する橋脚形式である。

表-1 P1橋脚諸元

断面	外形(橋軸方向×直角方向)	6.5m×10.0m	
	内空	4.5m×8.0m	
	形状	小判型形状	
コンクリート強度		30N/mm <sup>2</sup>	
軸方向鉄筋	種別	SD345	
	鉄筋径, 間隔	外側	D51@150
		内側	D32@300
	配置	外側	2段
内側		1段	
帯鉄筋	種別	SD345	
	鉄筋径, 間隔	D25@150	
	フック形状	直角フック	

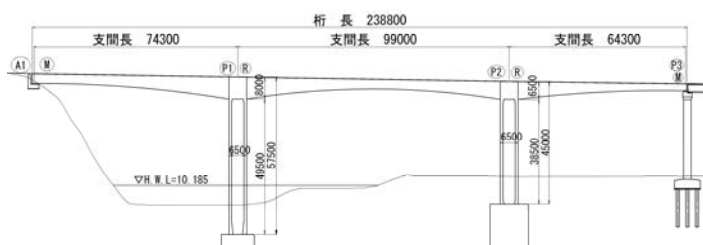
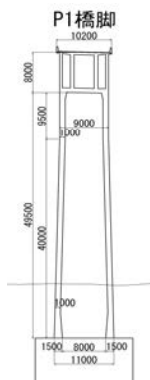


図-1 側面図, 橋脚正面図

### 3. ファイバーモデルによる耐震性能照査

#### (1) 概要

対象橋梁の耐震性能を照査するためにまず橋脚を M-

φ要素とした非線形動的解析を実施した。照査の結果を表-2に示す。P1, P2橋脚ともに応答曲率が終局曲率を超過し、耐震性能2(b) (橋の供用性として緊急物資の輸送路等としての機能を確保できる性能。強度保持が可能な点(終局点))を満足せず、中空断面箇所塑性ヒンジが形成される。塑性ヒンジ区間に中空断面を有するRC橋脚は、曲げ作用を受けた際に圧縮力を負担する基部のコンクリートの圧縮破壊によって軸耐荷力を失う致命的な損傷が生じる場合がある。また、地震後における中空断面内面の損傷状況の点検や補修の実施も極めて難しい構造特性を有している。したがって、塑性ヒンジ区間は充実断面が望ましいが、P1橋脚は一級河川の流水部に位置し、補強工事を行う場合、大規模な施工となる。M-φ要素では軸力変動の影響を考慮できず、中空断面内面の損傷状態を推定できないため、ファイバーモデルによる非線形動的解析を実施し、中空断面内面の損傷状態を踏まえ最適な補強工法を立案することとした。本稿は河川流水部に位置するP1橋脚を対象に耐震性能の照査結果を報告する。

表-2 現況耐震性能照査結果

下部工			P1	P2
支承条件			剛結	剛結
橋軸方向加振	段落し部曲げ照査	発生曲率/降伏曲率	0.395	0.362
	降伏判定	発生曲率/降伏曲率	3.040	4.219
	基部曲率照査2(a)	発生曲率/許容曲率	0.928	1.494
	基部曲率照査2(b)	発生曲率/終局曲率	0.688	1.129
	せん断耐力照査	発生せん断力/せん断耐力	0.755	0.774
橋軸直角方向加振	段落し部曲げ照査	発生曲率/降伏曲率	0.468	0.403
	降伏判定	発生曲率/降伏曲率	2.887	3.470
	基部曲率照査2(a)	発生曲率/許容曲率	1.324	1.529
	基部曲率照査2(b)	発生曲率/終局曲率	1.042	1.195
	せん断耐力照査	発生せん断力/せん断耐力	0.626	0.712

#### (2) 解析モデル

P1, P2橋脚の断面を約0.3m四方でメッシュ分割し、各セルに対してコンクリートと鉄筋の応力-ひずみ曲線を与えたファイバー要素を作成した。コンクリートの応力-ひずみ関係は最大圧縮ひずみ後の軟化特性を考慮した非線形履歴モデルとした。数値解析法はNewmark-β法(β=0.25)による直接積分法とし、積分

キーワード 中空断面 RC 橋脚, 耐震補強, 非線形動的解析, ファイバー要素, PRC ラーメン箱桁

連絡先 〒980-0811 仙台市青葉区一番町4丁目6-1 (株) オリエンタルコンサルタンツ東北支社 TEL022-215-5625

間隔時間 0.002 秒, 地震波形は道示<sup>1)</sup>に示すⅡ種地盤波形を適用した. 減衰はRayleigh減衰で考慮し, 固有振動解析で得た卓越振動モードをもとに設定した.

**(3) 現況解析結果**

現況において, P1 橋脚柱基部の中空断面内面の鉄筋発生ひずみは 0.0048~0.012, 中空断面外面の鉄筋発生ひずみは 0.0056~0.013 であった. 鉄筋の降伏ひずみ 0.0017 に対し中空断面内面は約 6 倍のひずみであり, かぶりコンクリートの剥落程度の損傷であると考えられる<sup>2)3)</sup>. コンクリートひずみは P1 橋脚柱基部の中空断面内面 0.00049~0.0021, 中空断面外面 0.0013~0.0033 であった. 中空断面内外面ともに終局ひずみ 0.0035 未満であり, 終局限界には達しておらず, コンクリートの圧壊に伴って鉛直支持力が急速に失われる損傷は生じないと考えられる.

表-3 RC 橋脚の損傷度レベル

損傷状態	塑性率<1	塑性率2程度
	ひび割れは生じるが, 残留ひび割れがほとんど生じない程度	鉄筋は降伏するが, 残留ひび割れはあまり大きくない程度
損傷状態	塑性率4程度	塑性率6程度
	塑性率2の状態と比べ, 損傷は大きい, 残留ひび割れはあまり大きくない程度	かぶりコンクリートがはらみだし, 剥落する

**(4) 補強後解析結果**

陸上部に位置する P2 橋脚の耐荷力向上を図り, 流水部 P1 橋脚の損傷程度を低減し, 無補強を図るため, P2 橋脚の RC 巻立て補強(t=250mm 主鉄筋 D22@300 基部定着)を立案した.

P2 橋脚巻立て補強後における P1 橋脚柱基部のひずみ分布図を図-2 に, コンクリート損傷分布図を図-3 に示す. また, 補強後の耐震性能照査結果を表-4 に示す. P1 橋脚柱基部の鉄筋の発生ひずみは, 内面 0.0043~0.0077, 外面 0.0050~0.0084 となっており, 降伏ひずみ 0.0017 に対し中空断面内面は約 4 倍のひずみであり, 残留ひび割れはあまり大きくない程度の損傷であると考えられる<sup>2)3)</sup>. コンクリートひずみは, 内面 0.00051~0.0016, 外面 0.0013~0.0024 であり, 中空断面内面はコンクリートが最大圧縮応力度に達するときのひずみ 0.002 にも達していない.

**5. 検討結果**

ファイバーモデルによる耐震性能照査の結果, P2 橋脚の RC 巻立て補強により, P1 橋脚は中空断面箇所に塑性ヒンジは形成されるが, 応答曲率は終局曲率未満となり, 中空断面内面は引張側において残留ひび割れがあまり大きくない程度の損傷, 圧縮側は圧壊が生じないと考えられ, 耐震性能 2(b)以上の性能を有している

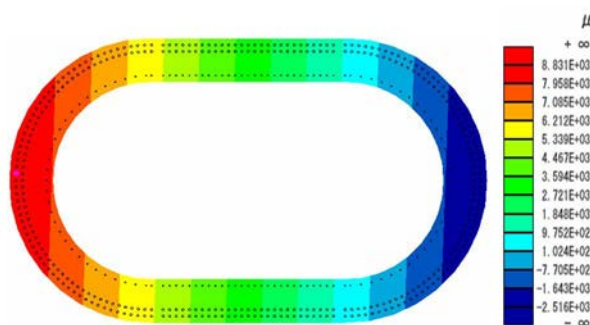


図-2 補強後 P1 基部ひずみ分布図 (直角方向)

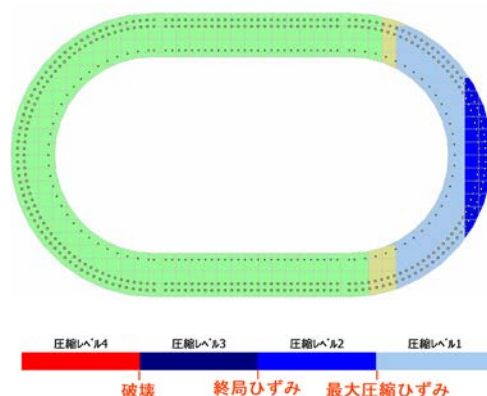


図-3 補強後 P1 基部コンクリート損傷分布図 (直角方向)

表-4 補強後耐震性能照査結果

下部工		P1	P2	
支承条件		剛結	剛結	
橋軸方向加振	段落し部曲げ照査	発生曲率/降伏曲率	0.403	0.369
	降伏判定	発生曲率/降伏曲率	2.882	5.756
	基部曲率照査2(a)	発生曲率/許容曲率	0.880	0.932
	基部曲率照査2(b)	発生曲率/終局曲率	0.653	0.657
	せん断耐力照査	発生せん断力/せん断耐力	0.738	0.635
橋軸直角方向加振	段落し部曲げ照査	発生曲率/降伏曲率	0.452	0.270
	降伏判定	発生曲率/降伏曲率	2.756	5.223
	基部曲率照査2(a)	発生曲率/許容曲率	1.264	0.861
	基部曲率照査2(b)	発生曲率/終局曲率	0.995	0.607
	せん断耐力照査	発生せん断力/せん断耐力	0.624	0.570

と評価した.

**6. まとめ**

本検討では, 塑性ヒンジ区間に中空断面を有する RC 橋脚に対して, ファイバーモデルを用いた非線形動的解析により耐震性能を評価した. 高橋脚を有している橋梁には中空断面橋脚が多数存在すると考えられる. 今後, 耐震補強を進めるうえで本稿が中空断面 RC 橋脚に対する耐震性能照査の基礎資料になれば幸いである.

**参考文献**

- 1) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, V耐震設計編, 平成 24 年 3 月
- 2) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, V耐震設計編, 平成 14 年 3 月
- 3) 土木研究所: 既設橋の耐震補強設計に関する技術資料(国総研資料第 700 号), 平成 24 年 11 月