

地震時の構造系を変化させた PC 連続箱桁橋の耐震補強設計

八千代エンジニアリング(株) ○正会員名古屋 和史^{※1} 非会員 石川 義樹^{※1}
東日本高速道路(株) 正会員 東田 典雅^{※2} 非会員 下岡 英智^{※2}
東日本高速道路(株) 正会員 塩畑 英俊^{※2} 正会員 宇山 友理^{※2}

1. はじめに

北陸自動車道(朝日 IC～糸魚川 IC 間)は、一般国道 8 号とともに、新潟県と富山県を結ぶ重要路線であり、大規模地震時に緊急輸送道路となることから、現行の道路橋示方書に基づいた耐震性能を確保すべく、耐震補強対策の計画・設計を進めている。本路線に架橋された親不知海岸高架橋(橋長 3373m)は、厳しい塩害環境にある他、起終点側のトンネル隣接区間では、国道、鉄道、河川に近接するため、耐震補強対策を実施する際に、設計・施工上、制約条件が多い橋梁となる。

本稿は、下り線 P81～A2 区間の PC3 径間連続箱桁橋を代表として、交差する国道への影響を最小限に抑え、鉄道に近接する P83 橋脚の巻立て補強を回避するため、地震時の構造系を変更した橋全体系の耐震補強工法の検討と設計結果について報告する。

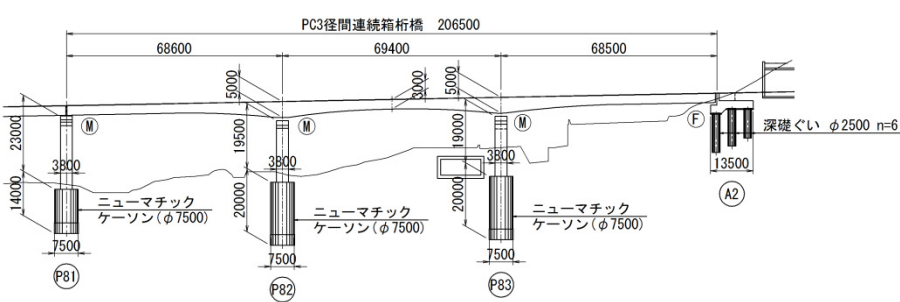


図-1 設計対象橋梁(下り線 P81～A2 区間)



図-2 下り線 P83 橋脚付近の状況

2. 既設橋梁の耐震性能照査結果

(1) 設計対象橋梁の概要

設計対象橋梁は、A2 橋台で橋軸方向に 1 点固定となる PC3 径間連続箱桁橋(橋長 206.5m)である。橋脚は脚高 19m～23m の RC 柱式橋脚(断面寸法: 5.0m×3.8m)、基礎構造は橋脚がニューマチックケーソン、橋台が深礎杭となる。

(2) レベル 2 地震動に対する耐震性能照査結果

既設橋梁の耐震性能照査は、橋梁全体系の 2 次元非線形動的解析によって実施した。照査結果の概要を表-1 に示す。

表-1 既設橋梁の耐震性能照査結果(レベル 2)

				P81	P82	P83	A2
構造条件	上部構造	PC3径間連続箱桁橋					
	支 承 部	橋 梁 形 式	BP-A		BP-A	BP-A	鋼製ピン
		支 承 条件	橋軸方向	M	M	M	F
	下部構造		直角方向	F	F	F	F
		橋 脚 形 式	RC柱式	RC柱式	RC柱式	---	
		橋 脚 高	H(底版含む)	23.0m	19.5m	19.0m	---
断面寸法		D(橋軸方向)	3.8m	3.8m	3.8m	---	
	B(直角方向)	5.0m	5.0m	5.0m	---		
耐震性能照査結果	基礎構造	基 礎 形 式	ケーソン	ケーソン	ケーソン	深礎杭	
	支 承 部	支 承 耐 力 照 査	---				NG
		移 動 量 照 査	OK	OK	OK	---	
	橋 脚	曲 げ 照 査	段落し部	OK	OK	OK	---
		せん断照査	柱 基 部	OK	OK	OK	---
			一 般 部	OK	OK	OK	---
			柱 基 部	OK	OK	OK	---
	支 承 部	支 承 耐 力 照 査	NG	NG	NG	NG	
		移 動 量 照 査	---				
	橋軸直角方向	橋 脚	曲 げ 照 査	段落し部	NG	NG	OK
柱 基 部			NG	NG	NG	---	
一 般 部			NG	NG	OK	---	
柱 基 部			OK	OK	OK	---	

橋軸方向は、橋脚の支持条件が可動であるため、橋脚の耐震性は満足するが、1 点固定の A2 支承部に過大な水平力(=約 78,000kN)が作用し、最も耐力の低い部位であるピン(保有耐力=12,954kN/一支承線当たり)が破断するため、耐震性を満足しない。桁の過移動や支承破壊による支持機能の喪失等の被害が想定される。

橋軸直角方向は、橋脚段落し部の曲げ耐力およびせん断耐力の不足、橋脚基部の曲げ変形性能の不足、支承耐力の不足等により耐震性を満足しない。

以上、既設橋梁の耐震性能照査の結果、大規模地震に対する耐震性能を満足せず、橋脚は橋軸直角方向に対して補強が必要となり、支承部は全支点对策が必要となることが明らかとなった。

キーワード PC 連続箱桁橋、耐震補強設計、橋全体系補強、構造系変更、免震・制震デバイス
連絡先 ^{※1} 八千代エンジニアリング(株)〒111-8648 東京都台東区浅草橋 5-20-8CS タワー TEL 03-5822-2900
^{※2} 東日本高速道路(株)新潟支社〒950-0917 新潟市中央区天神 1-1 新潟プラーカ 3(4F) TEL 025-241-5212

3. 耐震補強工法の検討および設計結果

(1) 耐震補強工法の選定における課題と検討方針

現況照査結果に基づき、耐震補強工法を検討する。制約条件として、P83 橋脚は基部のじん性補強が必要なるが、橋脚の根入れが深く国道 8 号や鉄道に近接するため、巻立て補強工法を選定した場合、足場設置や掘削等による鉄道への影響が大きくなる(図-3)。補強工法の選定方針は、以下を考慮して検討する。

- 1) 交差する国道 8 号への影響を最小限に抑え、鉄道近接となる P83 橋脚の巻立て補強を回避するように、橋全体系での耐震補強工法を基本とする。
- 2) 支承部の補強は、免震支承への取替による維持更新についても考慮する。

(2) 耐震補強工法の検討結果

耐震補強工法の検討は、制約条件が無い P81・P82 橋脚は、経済性で優位な RC 巻立て工法(アンカー非定着)で補強し、P83 橋脚は無補強とした条件で構造系を検討した。この結果、P83 橋脚が橋軸直角方向で耐震性を満足しないため、橋軸直角方向の構造が成立する支持条件を検討後、橋軸方向の補強構造を検討した。

1) 橋軸直角方向の構造系検討: P83 橋脚の巻立て補強を回避するため、支承部は免震支承に取替え、支持条件を表-2 に示すとおり、検討した。Case-1~Case-3 のいずれも P83 橋脚の耐震性を満足できるが、Case-1 は P81 支承取替時に上部構造の横桁下面と下床版の PC 鋼材が錯綜して取替が困難であり、Case-2 は Case-1 の理由に加えて、P81 支点の支承高が現況の支承高 555mm 以上となるため取替が難しい。Case-3 は中間支点のみの取替で構造が成立する。

表-2 補強構造系の検討結果(橋軸直角方向)

			Case-1	Case-2	Case-3
			P81	P82	P83
支承部	支承条件 (直角方向)	P81	E(免震)	E(免震)	F(固定)
		P82	E(免震)	E(免震)	E(免震)
		P83	E(免震)	E(免震)	E(免震)
		A2	E(免震)	F(固定)	F(固定)
P83橋脚 基部 (無補強)	支承移動量 UB(mm)	P81	338.8	562.9	---
		P82	325.6	334.3	292.6
		P83	338.9	244.4	375.0
		A2	110.3	---	---
P83橋脚 基部 (無補強)	応答曲率 ϕ_{max} (1/m)	許容曲率 ϕ_a (1/m)	8.45E-4	1.02E-3	7.45E-4
		照査結果 $\phi_{max} \leq \phi_a$	OK	OK	OK
		(応答値/許容値)	(0.71)	(0.86)	(0.63)
		補強構造の成立性	Δ	Δ	O

よって、橋軸直角方向は端支点を RC ブロックで固定し中間支点を免震化する。なお、レベル 1 地震時の支持条件は現況と同様にするため、免震支承にサイドブロックを設置しレベル 2 地震時は破断する構造とした。

2) 橋軸方向の構造系検討: 橋軸方向は、レベル 1 地震動に対し、A2 支承部を固定しない場合、P82・P83 橋脚の軸方向鉄筋の許容応力度の超過、および A2 橋台の伸縮装置の遊間量が満足しない。また、レベル 2 地震動に対し、A2 支承部を 1 点固定とした場合、支承や基礎への負担が大きくなり、橋全体系の耐震性確保に課題が生じる。そこで、A2 支承部を免震支承に取替え、レベル 1 地震時の固定条件を満足するように支承のサイドブロックを設計し、レベル 2 地震時にはボルトが破断して基礎に過大な水平力が作用しない構造系とした。また、桁両端に制震ダンパーを設置して、桁端衝突を緩和するとともに、弾性支持に変更された P83 橋脚の補強を回避した。なお、A2 橋台の桁遊間は小さいため、桁端部の衝突回避は困難であることから、橋軸方向の免震支承は履歴減衰を期待しない構造として安全側の設計した。補強構造と設計結果を図-4、表-3 に示す。

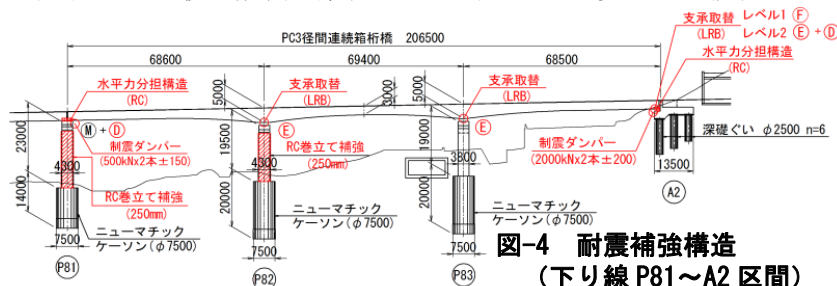


図-4 耐震補強構造
(下り線 P81~A2 区間)

4. まとめ

親不知海岸高架橋の下り線 P81~A2 区間の耐震補強においては、支承取替による構造系変更や免震・制震デバイスの採用により、国道や鉄道に近接する施工条件が厳しい P83 橋脚の補強を回避した。また、レベル 1・レベル 2 地震時の構造系の変化を考慮した合理的な設計を行い、橋全体の耐震性向上を図った。本事例が今後の設計の参考になれば幸いである。

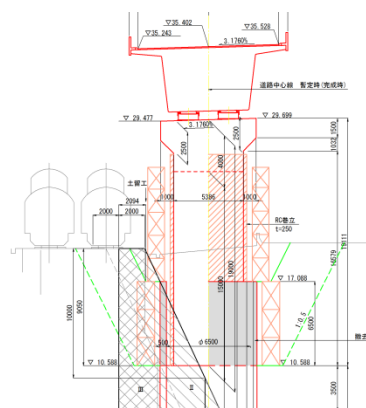


図-3 掘削の影響範囲(P83)

表-3 耐震補強設計結果

		P81	P82	P83	A2
		BP-A	LRB	LRB	LRB
支承補強	制震装置(橋軸)	制震ダンパー 500kN×2	---	---	制震ダンパー 2000kN×2
	固定装置(直角)	RC7' ロック	---	---	RC7' ロック
	レベル 1 橋軸方向	M+D	E	E	F
	支承条件 直角方向	F	F	F	F
レベル 2	橋軸方向	M+D	E	E	F→E+D
	支承条件 直角方向	F	E	E	F
橋脚補強	巻立て工法	RC巻立て	RC巻立て	無補強	---
	巻立て厚	t=250mm	t=250mm	---	---
	軸方向鉄筋	D25ctc150	D25ctc150	---	---
常鉄筋		D16ctc150	D16ctc150	---	---