

耐震補強に伴う柱耐力の増加と杭基礎耐力の関係について

Relationship between strength of column and strength of pile foundation improved by seismic retrofitting

中央コンサルタンツ株式会社 ○正 員 太田 雅仁 (Masahito Ota)

同 上 正 員 野田 勝哉 (Katuya Noda)

同 上 正 員 中元 英樹 (Hideki Nakamoto)

1. はじめに

兵庫県南部地震を契機に、RC橋脚の耐震補強が盛んに行われるようになった。補強は、主に柱部に対して、中間貫通鋼材などを配置してじん性を向上させる、あるいは軸方向鉄筋などをフーチングに定着させ、保有水平耐力を増加させるなどの手法がとられる。

しかし、柱部の耐力を過度に増加させた場合、柱基部が降伏に達する前に基礎が降伏する可能性があり、基礎の補強が必要になる場合がある。

実際に基礎の補強を行うことは、桁下空間の制約や、仮設が大掛かりになるなど、工費・工期が増大し、現実的に困難であることが多い。

従って、柱部の補強を行う場合は、柱耐力の増加割合と基礎耐力のバランスを考慮し、過度な耐力増加を避けた設計を行うことが重要となる。

そこで、本研究では、橋脚柱部を補強することによる保有水平耐力の増加が、杭基礎の耐力とどのような関係にあるかを検討し、柱と基礎の耐力バランスのとれた設計を行うための基礎資料とすることを目的とする。

その結果、柱部の耐力増加割合をある程度制御することにより、基礎への影響を回避できる可能性が見出されたので、ここに報告するものである。

2. 橋脚の緒元

対象とした橋脚は、柱高が10.0m程度で、場所打ち杭を有するRC壁式橋脚である。橋脚数は全4橋脚である。支承条件は、全て可動支承である。詳細については、表-1に示す。

3. 検討条件

(1) 検討ケース

補強工法は、一般的に多く行われているRC巻立て工法を想定する。この工法で柱耐力を増加させるためには、柱にコンクリートを巻立て、軸方向鉄筋をフーチングに定着させることで行う。また、帯鉄筋や中間貫通鋼材などによる横拘束効果は、耐力増加の大きな要因にはならないので、今回は帯鉄筋のみを考慮し、中間貫通鋼材は配置していない。

検討ケースは表-2に示すとおりである。柱断面が無補強の場合に1断面、補強の場合に3断面の合計4ケースを行った。但し、橋脚Bについては3ケースのみとする。

ここで、柱の耐力増加を表す指標を定義する。補強後の柱耐力 P_a と既設の柱耐力 P_{a0} に基づいて、補強耐力比 γ を次式で表す。

$$\gamma = P_a / P_{a0} \quad (1)$$

表-1. 橋脚の緒元

橋脚名		橋脚A		橋脚B		橋脚C		橋脚D	
支承条件		M		M, M		M		M	
柱寸法	柱高	m	10.6	10.5		10.1		10.0	
	断面形状	m	4.0×1.2	14.3×1.2		2.0×1.5		5.7×1.0	
	軸方向鉄筋	—	D22@150	D16@150		D25@250		D19@250	
底板寸法	厚さ	m	1.6	1.5		2.0		1.2	
	形状	m	7.5×5.0	14.8×4.5		6.0×5.0		7.0×5.6	
杭基礎	杭径、杭長	m	φ1.0, L=8.0	φ1.0, L=12.0		φ1.0, L=15.0		φ1.0, L=15.0	
	本数	本	5 (2+1+2)	10 (5×2)		5 (2+1+2)		6 (3×2)	
	杭体鉄筋	—	1段: D19×12本	1段: D22×16本		1段: D29×10本 2段: D25×10本		1段: D22×16本	
地盤種別		Ⅱ種		Ⅱ種		Ⅲ種		Ⅲ種	
備考				小判形					

表-2. 検討ケース

橋脚名		橋脚A		橋脚B		橋脚C		橋脚D	
検討ケース	条件	厚さ	軸方向鉄筋	厚さ	軸方向鉄筋	厚さ	軸方向鉄筋	厚さ	軸方向鉄筋
CASE1	無補強	—	—	—	—	—	—	—	—
CASE2	補強①	25cm	D22@300	25cm	D22@300	25cm	D16@300	25cm	D22@300
CASE3	補強②	35cm	D32@300	35cm	D38@300	25cm	D22@300	35cm	D29@300
CASE4	補強③	35cm	D38@300	—	—	35cm	D38@300	35cm	D38@300

(2) 検討項目

杭基礎の降伏について道示²⁾によると、全ての杭体が降伏すること、または、1列の杭の杭頭反力が押込み支持力の上限值に達することの、いずれかに最初に達する状態としている。

このことから、検討項目は杭本体の曲げモーメントと杭頭反力とした。

この際、杭体に生じる最大曲げモーメント M_{max} は、杭体の降伏曲げモーメント M_y との比を用いて、次式に示すように無次元化した。

$$\gamma_M = M_{max} / M_y \quad (2)$$

また、杭の押込み力 P_N は、押込み支持力の上限值 P_{NU} との比を用いて、次式に示すように無次元化した。

$$\gamma_N = P_N / P_{NU} \quad (3)$$

4. 計算概要

本研究における計算の流れは、まず、柱の終局水平耐力 P_u 及び等価重量 W を算出し、式(4)より基礎に作用する設計水平震度 k_{hp} を決定する。

$$k_{hp} = C_{df} P_u / W \quad (4)$$

C_{df} : 橋脚基礎の照査に用いる設計水平震度の算出のための補正係数

次に、この設計水平震度を用いて基礎の計算を行う。

この際に用いた計算方法は、静的解析法の地震時保有水平耐力法を用いている。

地震力作用方向は、橋軸方向のみとする。

5. 計算結果

表-3に、補強耐力増加による基礎の降伏判定を一覧表にまとめた。図-1には縦軸に曲げ耐力比 γ_M を、横軸に補強耐力比 γ をとったものを示す。図-2には縦軸に押込み力比 γ_N を、横軸に補強耐力比 γ をとったものを示す。

表-3より基礎の降伏判定は、概ね補強耐力比 γ が2程度を境にして、基礎が降伏に達することがわかる。

図-1の曲げ耐力では、橋脚A、B、Cでは補強耐力比 γ が2~3程度で降伏に達し、橋脚Dでは4を超えていても降伏していない。図-2の押込み力では、橋脚Aで補強耐力比 γ が3程度で上限値に達し、それ以外の橋脚は上限値に達していない。これらのことから、押込み力よりも杭体曲げ耐力に補強耐力比 γ の影響が顕著に現れていることがわかる。

表-3. 基礎の降伏判定一覧表

橋脚A			橋脚B		
Case	耐力比 γ	判定	Case	耐力比 γ	判定
1	1.00	O.K.	1	1.00	O.K.
2	1.91	O.K.	2	2.40	O.K.
3	2.98	降伏	3	4.91	降伏
4	3.58	降伏	4	—	—
橋脚C			橋脚D		
Case	耐力比 γ	判定	Case	耐力比 γ	判定
1	1.00	O.K.	1	1.00	O.K.
2	1.60	O.K.	2	2.11	O.K.
3	1.88	O.K.	3	3.17	O.K.
4	3.58	降伏	4	4.31	O.K.

注1) 耐力比 1.00 は無補強状態を表す。

注2) 判定の O.K. は降伏に達していないことを表す。

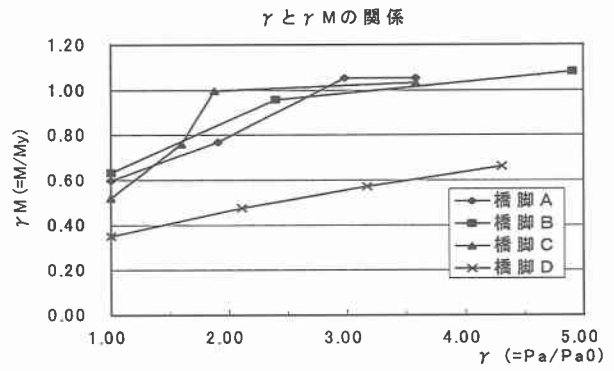


図-1. 補強耐力比 γ と曲げ耐力比 γ_M の関係

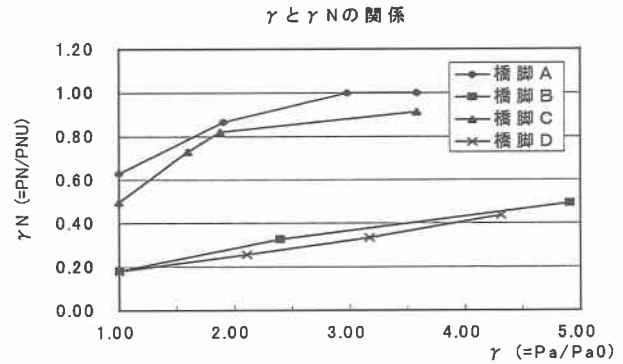


図-2. 補強耐力比 γ と押込み力比 γ_N の関係

なお、杭体曲げ耐力について、橋脚Cだけが他の橋脚と比較して傾きが大きい。この要因は、橋脚Cの断面が小さいため、補強に伴う等価重量の増加割合が他の橋脚よりも大きいためと考えられる。

また、押込み力については上限値に対して橋脚A、Cには余裕がなく、橋脚B、Dは余裕がある。橋脚A、Cは、杭配置により橋軸直角方向に対し杭本数が少ないため、杭1本にかかる荷重分担が大きいためと考えられる。

6. まとめ

本研究では、柱耐力増加に伴う杭基礎に対する影響について、補強耐力比 γ をパラメータに杭体曲げ耐力と押込み力の比較検討を行った。その結果をまとめる。

- ・概ね、補強耐力比 γ が2程度以内であれば、杭基礎は降伏には達しない。
- ・補強耐力比 γ が杭体曲げ耐力では2程度、押込み力では3程度であれば、許容値を満足することがわかった。
- ・耐力増加は、押込み力よりも杭体曲げ耐力に与える影響が大きい。

今後の課題を以下に示す。

- ・基礎構造を構成する底版についても柱の耐力増加による影響の検討が必要である。
- ・柱断面の縦横比や補強耐力比等を定量的なパラメータ化を行い、それに対するデータの蓄積が必要である。
- ・固定支承の橋脚についても検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 矢部正明、川島一彦：橋脚と杭の降伏耐力が杭基礎の塑性損傷に及ぼす影響、土木学会論文集、No626 / I-48, pp.51-68, 1999.7.
- 2) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説、IV下部構造編及びV耐震設計編、H14年3月。