

東京メトロにおける高架橋 RC 柱の耐震診断手法について

東京地下鉄株式会社 正会員 山本 努
東京地下鉄株式会社 阿部 正和
メトロ開発株式会社 正会員 宇波 邦宣
パシフィックコンサルタンツ株式会社 正会員 ○松枝 修平

1. はじめに

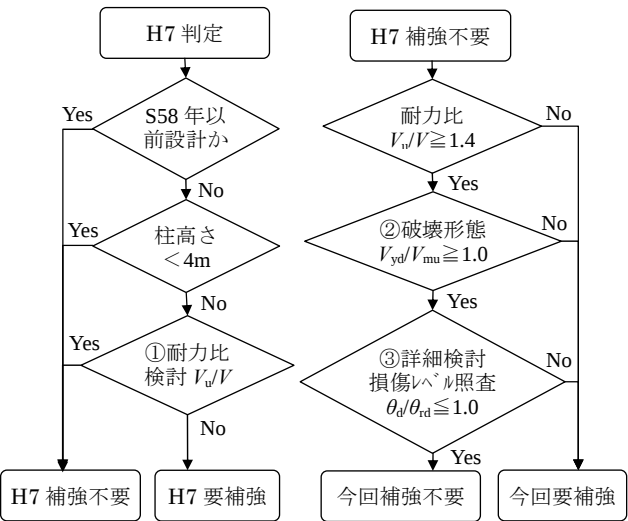
東京地下鉄(株) (以下、東京メトロ) では、兵庫県南部地震以降、旧運輸省からの通達¹⁾をベースに構造物の耐震対策を進めてきており²⁾、ラーメン高架橋・橋台 RC 柱および開削トンネル RC 柱の補強、桁式構造物の落橋防止工の設置はほぼ完了した。昨年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震では、昭和 58 年以降の設計基準により設計された構造物や耐震補強された構造物にはほとんど被害がなかったことが報告³⁾されており、今までの耐震補強の有効性が確認された。一方で、未補強の高架橋 RC 柱で部分的な損傷が生じて復旧に期間を要した事例も見られた。今後、首都圏の大規模地震も想定されるなど更なる地震対策が必要となってきたことも踏まえ、東京メトロでは、更なる安全性・復旧性向上を目指した新たな耐震対策が急務であると考え、まず、RC ラーメン高架橋の RC 柱の耐震診断を実施した。

2. 耐震対策の方針および耐震診断の方法

東京メトロでは、更なるラーメン高架橋 RC 柱 (以下、RC 柱) の耐震対策として、震災時に損傷が軽微で早期に修復できるような復旧性や、曲げ降伏後のせん断破壊への対策等も考慮して、現行の鉄道耐震設計標準⁴⁾に準じて耐震診断を実施することとした。

図 1 に、平成 7 年に実施した RC ラーメン高架橋の RC 柱の耐震診断の流れと、今回の耐震診断での流れをそれぞれ示す。今回の耐震診断では、破壊形態 (破壊モード) の検討と、部材の非線形特性を考慮した非線形スペクトル法を用いた詳細検討による損傷レベルの照査を実施した。また、検討対象の柱本数が多数あることから、過去に実施した耐震診断 (耐力比の検討) 結果を準用し、検討数を絞ることとした。なお、今回の検討では、RC 柱を全て曲げ破壊先行型とするために、破壊形態の検討結果を満足しない場合には“要補強”とすることとした。

図 2 に、耐力比の式 (式①) と破壊形態の検討式 (式②) の比較結果を示す。比較に用いたサンプルは、平成 7 年に補強不要となった RC 柱本数約 1200 本のうち、東京メトロ内の各路線から 21 本を抽出した。図より、破壊形態の検討の閾値である式②=1.0 と+印を比較すると、 $V_u/V=1.4$ (図中太線) 付近となる。したがって、図 1 (b) に示すように、 $V_u/V=1.4$ を閾値として耐力比の検討を準用することとした。なお、図 1 (b) に示すように、耐力比



※ V_u : 破壊せん力¹⁾, V : 破壊曲げモーメント作用時のせん断力¹⁾, V_{mu} : 部材が設計曲げ耐力に達する時のせん断力⁴⁾, V_{yd} : 設計せん断耐力⁴⁾, θ_d : 設計部材角⁴⁾, θ_{rd} : 部材角の設計限界値⁴⁾, 破壊形態の検討式を V_{yd}/V_{mu} の形としたのは耐力比 V_u/V と合わせるためである。

(a) 通達等による流れ (b) 今回検討の流れ

図 1 RC 柱の耐震診断の流れ

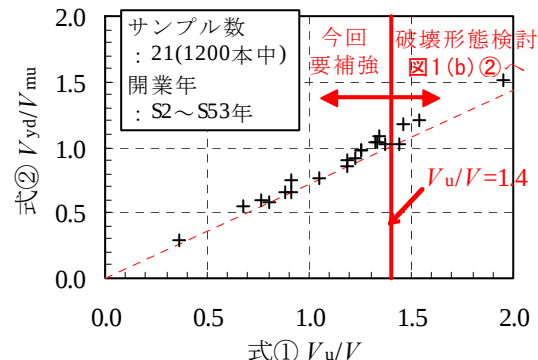


図 2 耐力比の算定式の比較

キーワード RC ラーメン高架橋, 耐震診断, 耐震補強

連絡先 〒110-0015 東京都台東区東上野 3 丁目 19 番 6 号 東京地下鉄株式会社

の照査を満足するものについても破壊形態の検討(式②)を実施した。ここで、式①と式②が図1のような関係となるのは、安全係数(材料係数、鉄筋の材料修正係数、部材係数)の違いがほとんどである。

3. 耐震診断の結果

(1) 破壊形態の検討結果

破壊形態の検討の結果、対象構造物のほとんどの構造物が昭和58年以前に設計されたものであり、帯鉄筋量が少なかったことから、検討結果を満足したものは兵庫県南部地震直後に通達された当面の耐震設計に関する参考資料⁵⁾により設計された構造物のみであった。

(2) 詳細検討結果

図1(b)②の破壊形態の検討を満足した構造物に対して、非線形スペクトル法による耐震性能の照査を実施した。ここで、ラーメン高架橋の柱以外の部材の照査については、過去の地震被害で損傷事例が少ないことや、柱部材の損傷が高架橋全体の安全性や復旧性に影響を与えていることなどから省略し、今回の検討では、RC柱の照査を優先的に実施することとした。

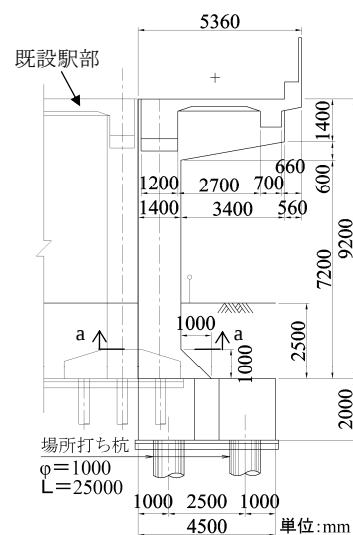
図3に、詳細検討を実施することとなったRCラーメン高架橋の例を示す。対象構造物は、1層3径間の橋軸直角方向に単柱のRCラーメン高架橋であり、既設のRCラーメン高架橋駅部に分離構造として、増設したものである。地盤は軟弱粘性土を主体とするG5地盤であり、場所打ち杭基礎およびフーチングは橋軸方向の地中梁で連結されている。なお、対象構造物は、兵庫県南部地震以前に設計されたが、地震被害を受けて、文献⁵⁾により耐震のチェックが行われた。

表1に、橋軸直角方向の応答値、およびRC柱(図3中のa-a断面)の耐震性能の照査結果を示す。破壊形態の検討結果については、文献⁵⁾に準じていることから、曲げ破壊先行型であった。一方、損傷レベルの照査については、限界値の4に対して損傷レベルが3であったため満足できない結果となった。以上から、損傷レベルを満足させる(変形性能を向上させる)耐震補強が必要となった。なお、補強後の損傷レベルについては、代表断面に対して別途検討を行い、補強することで満足することを確認した。

5. まとめ

昨年発生した東北地方太平洋沖地震の土木構造物の被害状況に鑑み、更なる安全性・復旧性向上を目指した新たな耐震対策として、RCラーメン高架橋柱の未補強箇所を対象に耐震診断を実施した。耐震診断は現行基準を参考に耐震性能の照査を行うものとした。耐震診断の結果、今回の対象構造物は昭和58年以前に設計されたものがほとんどだったことや、昭和58年以降の設計でも詳細検討を満足しなかったことから、すべて補強することとなった。今回は優先的にRCラーメン高架橋柱に対して検討したが、今後、他の構造物についても耐震診断を実施する予定である。

参考文献 1) 例えば、運輸省関東運輸局：鉄道施設耐震構造検討委員会の提言に基づく鉄道構造物の耐震性能に係る当面の措置について、1995.8、2) 武藤義彦、吉村正：営団地下鉄の耐震対策、コンクリート工学、Vol.41, No.5, 2003.5、3) 国土交通省：「鉄道構造物耐震基準検討委員会」の結果について、Press Release, 2011.5、4) (財)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)、1999.10、5) (財)鉄道総合技術研究所：新設構造物の当面の耐震設計に関する参考資料、1996.3



a-a断面の諸元： $p_t=1.23\%$ ， $p_w=0.52\%$

ここで、 p_t ：引張鉄筋比， p_w ：帯鉄筋比

図3 構造物の一般形状
(橋軸直角方向)

表1 耐震性能照査結果

方向	橋軸直角方向
地盤条件	G5地盤
応答値	$T_{eq}(\text{sec})$
	1.623
	$\delta_y(\text{mm})$
	305
	k_{hy}
	0.463
	μ
	2.29
	$\delta_{max}(\text{mm})$
	698
部材・箇所	柱下端
破壊形態の検討	V_{mv}/N_{yld}
	0.48
	判定
	曲げ破壊型
損傷レベルの照査	$\theta_d(\text{rad})$
	0.07259
	$\gamma_1 \cdot \theta_d / \theta_{yd}$
	26.39
	$\gamma_1 \cdot \theta_d / \theta_{md}$
	3.59
	$\gamma_1 \cdot \theta_d / \theta_{nd}$
	2.18
	損傷レベル
	4
	損傷レベルの限界値
	3
	補強要否
	要補強

ここで、 $\gamma_1=1.0$ ， T_{eq} ：等価固有周期， δ_y ：構造物全体系の降伏変位， μ ：応答塑性率， δ_{max} ：構造物全体系の最大応答変位， θ_{yd} ：損傷レベル1の設計限界値， θ_{md} ：損傷レベル2の設計限界値， θ_{nd} ：損傷レベル3の設計限界値