12. 強震記録を用いた既設橋梁の増杭効果

Case Study on Effectiveness of Additional Pile for Bridge by Strong-motion Seismograph Records

技術支援課 栗塚一範、鈴木明弘

1. はじめに

土木技術支援・人材育成センターでは、「東京都震 災予防条例」(現:東京都震災対策条例)に基づき、 建設局が管理する道路橋梁、河川構造物など重要構造 物全19地点の強震観測を昭和53年度(1978年度)から 行っている(資料編1)。このうち、高円寺陸橋は 2013年7月26日から2014年9月5日にかけて耐震補強対 策として増杭を行っており、増杭前後の強震記録が得 られている。強震記録の活用事例として、建築物では、 例えば都庁舎の耐震補強前の耐震安全性評価が公開¹⁾ されているが、補強後はまだ施工中ということもあり 公開されていない。土木構造物では、強震計を設置し ている施設は全国的に少なく、耐震補強効果を実測に て定量的に評価した事例は少ないとみられる。

本報では増杭前後の強震記録を用いて、増杭による 耐震補強効果を検証した結果について報告する。

表-1 高円寺陸橋諸元

場所	杉並区高円寺南2丁目~杉並区梅里1丁目 地内
上部工	単純合成鋼鈑桁橋
下部工	橋台:逆T式2基 橋脚:2柱式ラーメン橋脚2基(P3, P4),3柱式ラーメン橋脚5基(P1, P2, P5, P6, P7)
基礎工	橋台:場所打ち杭φ600 橋脚:場所打ち杭φ800(2柱式),場所打ち杭 既設φ600+増杭φ800(3柱式)
橋長/幅員	橋長:161.5m / 総幅員14m



高円寺陸橋増杭の概要 2.

高円寺陸橋の諸元と全体側面図を表-1、図-1に、 増杭の平面図・側面図を図-2、図-3に示す。高円寺 陸橋は、青梅街道を跨いで環状七号線に架かる橋長 161.5m 、8径間の単純合成鋼鈑桁橋である。1963年に 架設、1998年に全橋脚RC巻立補強を実施した後、今回、 増杭補強を行ったものである。増杭はP1~P2、P5~P7 において、既設杭の両端に5本ずつの増杭計10本(直 径800mm、長さ13m)を場所打ち杭として施工し、既設 底版を増厚したものである。既設基礎は現行の道路橋 示方書による耐震性能照査において、底版、杭ともに 耐力不足であったことから、耐震性能向上を目的とし て増杭補強したものである。

3. 強震観測概要

強震計の設置位置を図-4、橋脚設置箇所を写真-1、強震計仕様を表-2に示す。強震計はP1ラーメン橋 脚の梁天端に1台、地盤上に1台設置している。地盤上



図-4 強震計設置位置図



写真-1 強震計 橋脚設置箇所

設置の強震計は橋脚から約1km離れた位置に設置され ているが、地質条件は、地盤上・橋脚どちらも地表か ら約10mがN値10以下のローム層で、基盤層が礫層を主 体とした地層であり、同等の地盤条件である。

4. 検証項目

増杭前後で得られた強震記録から、(1)最大加速度 と(2)振動数特性について検証することとした。検証 フローを図-5に、対象となる地震諸元を表-3に示す。 増杭は橋軸方向の基礎両端に補強していることから、 橋軸方向の加速度について検証することとした。増杭 前①は、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖 地震の記録で大手町震度5強が観測されており、その 他のケースは大手町震度4が観測された。

表-2 強震計の仕様 CMAC MDI

堂式	SMAC-MDU
加速度計	サーボ型
測定範囲	$\pm 20 \text{m/s}^2$
分解能	$1 \times 10^{-6} \text{m/s}^2$
周波数特性	DC~450Hz
外形	約 398 (W) × 418 (D) × 210 (H) mm
質量	約 20kg

加速度計の向き

亜山士

橋脚 X:橋軸方向、Y:橋軸直角方向、Z:上下方向 地盤 X:南北方向、Y:東西方向、Z:上下方向 ※ 橋軸(+)は磁北から東に向かって10°の方向、橋軸直角方向

(+)は東から南に向かって10°の方向、地盤X(+)は磁北方向、地 盤Y(+)は東方向、上下方向Z(+)は上方向



図-5 検証フロー 表-3 地震諸元

ケース		発生年月日	震央	深さ (km)	地震の 規模 Mj(Mw)	大手 町の 震度
増杭前	1	2011/3/11 14:46:18	三陸沖	24	(9.0)	5強
	2	2011/4/11 17:16:12	福島県浜通り	6	7.0	4
	3	2011/4/16 11:19:32	茨城県南部	79	5.9	4
	4	2012/1/1 14:27:52	鳥島近海	397	7.0	4
	5	2012/11/24 17:59:47	東京湾	72	4.8	4
増杭後	1	2014/9/16 12:28:32	茨城県南部	47	5.6	4
	2	2015/5/25 14:28:10	埼玉県北部	56	5.5	4
	3	2015/5/30 20:23:02	小笠原諸島西方沖	682	8.1	4
	4	2015/9/12 05:49:07	東京湾	57	5.2	4

Mjは気象庁マグニチュード、Mwはモーメントマグニチュード

5. 検証結果

(1) 最大加速度

図-6~14に橋脚上(橋軸方向)、地盤上(橋軸方向に補正)の加速度時刻歴波形を示す。横軸は強震記録時間で、縦軸は記録した加速度である。橋脚と地盤の強震計はそれぞれ独立しており、時刻同期はされていない。なお、加速度の向きについて、地盤X軸を橋軸に合わせるため東に10°補正しベクトルを揃えている。加速度波形から、乱れた波形やスパイク的な異常波形はみられないことから、全てのデータを用いて評価することとした。









図-13 加速度波形 増杭後③



増杭前後における地盤と橋脚の最大加速度を表-4 に示す。地盤最大加速度に比べて橋脚最大加速度の方 が大きくなる傾向であった。表-4を増杭前後で比較 した散布図を図-15に示す。地盤に対する橋脚の最大 加速度は、増杭前に比べて増杭後が低下する傾向がみ られた。地震時の最大加速度が低減されることから、 地震動の揺れに対する抵抗性が増しているものと考え られる。

ケース		橋脚 (Gal)	地盤 (Gal)
増杭前	1	469.5	131.5
	2	67.7	25.6
	3	42.5	21.7
	4	33.6	20.9
	5	85.2	28.7
増杭後	1	38.8	24.4
	2	46.3	79.8
	3	27.4	14.7
	(A)	73 3	74 6

表-4 増杭前後における最大加速度



(2) 振動数特性

振動数特性について調べるため、地盤に対する橋脚 の加速度応答スペクトル(ここでは応答比)を求めた。 応答比算出フローを図-16に示す。①橋脚、地盤それ ぞれにおいて、加速度波形の振幅が大きい範囲から高 速フーリエ変換(FFT)に必要な2¹²=4096データを取り 出し、FFTを行いスペクトルを算出する。②算出され たスペクトルについて、パルス状の波形をHanningウ ィンドウ²⁾にて30回繰り返して平滑化する。③平滑化 することによって、ノイズ成分を除去でき、得られた 橋脚スペクトルを地盤スペクトルで除すことで、応答 比を算出した。

各ケースの応答比算出結果を図-17~25に示す。各 ケース毎では測定誤差や応答比計算での線形仮定に対 する誤差からばらつきがあり、増杭前後の比較が容易 ではない。そこで、増杭前と後のグループで振動数毎 に平均化し評価することとした。増杭前後の応答比ス



ペクトルを図-26に示す。ここで、地表以下の底版・ 杭を含まない橋脚の固有周期は、増杭前後ともに計算 上0.267秒となる。これは、図-26で示す卓越する振 動数(約4.5Hz(周期0.22秒))の位置に相当する。こ の位置の増杭前後における振動数と応答比はほぼ同じ であった。一方、振動数2~4Hz、5~7Hz付近で応答比 の低減がみられ、これが最大加速度の低下に繋がった ものだと考えられる。









6. まとめ

強震記録を用いて、既設橋梁の増杭効果を検証した。 この結果、増杭による橋脚の最大加速度低減効果がみ られた。これは、応答比スペクトルにも明らかに認め られることから、増杭による地震時の揺れの低減に繋 がっているものと考える。今回の結果は破壊レベルに 至らない比較的小さな地震動規模による成果であり、 このような領域においても、強震記録を用いることで 構造物の耐震性評価が可能になると考える。今後も、 強震記録の多様な活用を積極的に試み、耐震対策の一 助となれば幸いである。

7. 謝辞

本報の作成にあたり、元土木技術支援・人材育成セ ンター小川好氏に多大なるご指導を頂き、また、道路 管理部保全課、第三建設事務所の各位からご協力賜り ましたこと、ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 東京都財務局(2011):都庁第一本庁舎・第二本庁舎に おける長周期地震動対策への取組
- 2) 大崎順彦(1994):新・地震動のスペクトル解析入門