

III-118 固粒体パイアルによる橋脚下部工の補強工の一例

東北工業大学 工学部 ○ 伊藤 孝男・浅田 秋江・今堀 長郎
東北地方建設局 山形工事事務所 益子 恵治・小野寺 政和

1. 主えがき

補強工事の対象となった橋は、昭和34年に建設省直轄で施工された3径間のゲルバー鋼桁で、下部工型式はラーメン橋脚であり、基礎構造は杭基礎(摩擦杭)となっている。国道13号線の南陽市門塚地内に架橋されており日交通量28,500台という厳しい交通量に耐え、25年間に渡り山形県の主要幹線道路としての役割を果たしている。しかし、昭和54年に行われた橋梁2次点検調査の結果、下部工の支持力不足が確認され、昭和57年の再調査の結果、橋脚の基礎杭の支持力不足が明らかとなり、補強工の設計検討がなされ、昭和61年1月に「固粒体パイアル工法」により補強工事が行われた。ここに、施工法及び調査結果等について報告する。

2. 基礎工の検討

下部工の基礎杭は $\phi 0.3m$ 、 $L=9.0m$ のRC杭27本によって支持されており、この杭は現行の道路橋梁示方書によると“摩擦杭”に区分されフーチング及び周辺埋戻し碎石などと一体となり上部からの荷重を分担している。地盤調査に基づく杭基礎の耐震性についての検討結果、 P_1 橋脚、 P_2 橋脚とも許容支持力に対して杭頭反力が上回っている。また、地盤の流動化の検討結果、 P_1 橋脚地盤-6.65mの砂層で流動化抵抗係数(FL)が0.65となり、他の層においてはいずれも $FL > 1$ となっている。尚、現状の基礎工の計算結果を表-1、表-2に示した。

3. 補強工法の検討

補強工としては直接的工法(フーチングの大増し杭)、間接的工法(地盤改良)について検討した。「増し杭工法」は最も一般的であるが、打設が特殊工で仮設費も大となる。「地盤改良工法」は杭周辺地盤を人為的に変化させ現在の摩擦杭の許容支持力の増加を目的としている。種々の工法が考えられたが、現況の基礎に全く影響を与える杭の摩擦力を増強でき、他の工法に比べ経済的な「固粒体パイアル工法」に決定した。

4. 施工法の概要

当現場における固粒体パイアル工法は、既設のRC杭間に土質安定処理材「膨張促硬性固粒体」(呼称、固粒体)を杭状に打設し固粒体の脱水、膨張作用により地盤を改良し杭の摩擦力を増加させる工法である。

固粒体は「生石灰」と「セメント」を主成分とし微量の発泡剤を混入し高圧力で脱水、膨張作用に加え、それ自体自硬性を有しており、圧縮強度も高いことが通常の「生石灰」とは異なる。

施工はボーリングマシンで削孔し固粒体をソーセイジ状に袋詰めしたパック($\phi 0.15m$ 、 $L=1.0m$)を9本挿入し杭状とし、橋脚1基の周辺を直杭、基礎の底部を斜杭で打設し、全て打設終了後、固粒体の吸水反応に

表-1 安定計算結果

項目	単位	A_1 橋台	P_1 橋脚	P_2 橋脚	A_2 橋台
地盤時水平硬度 $K_h = V_1 \cdot V_2 \cdot V_3 \cdot K_a$	—	0.20	0.20	0.20	0.20
地盤 基礎 杭 の 諸 数 値 板 K 値 直 角 K 値	平均 N 値 K 値 (tf/m ²)	— 3 1,310	4 1,750	2 874	4 1,750
底 平均 N 値 K 値(橋軸) 板 K 値 (橋軸) (直角)	— 2 745 —	4 1,530 2,160	4 1,530 2,160	4 1,490 —	4 1,490 —
許容支持力 (地盤) (杭頭)	(t/本) (t/本)	37.7 47.7	15.0 47.7	17.6 47.7	35.1 47.7
許容引抜力 (地盤) (杭頭)	(t/本) (t/本)	14.4 19.8	10.8 19.8	9.7 19.8	10.6 19.8
許容水平力 (橋軸) (直角)	(t/本) (t/本)	40.5 —	40.5 6.7	40.5 6.7	40.5 —
流動化抵抗係数(FL)	—	—	0.65	1.45	—
鉛直バネ係数	(tf/m)	16,800	16,800	16,800	16,800

表-2 耐震性の検討

	単位	A_1 橋台	P_1 橋脚	P_2 橋脚	A_2 橋台
杭頭反力 (t/本)	20.4	17.1	21.1	20.2	
許容支持力 (t/本)	37.7	15.0	17.6	35.1	
杭地盤時安全率	—	2	3	3	2
極限支持力 (t/本)	75.4	44.9	52.8	70.3	
先端極限支持力 (t/本)	33.9	12.4	26.5	40.3	
周面摩擦力 (t/本)	41.5	32.5	27.3	29.9	

による膨張圧を効果的に作用させるために、数方向から順次パイル先端部のパックの一部を人為的に切除し、吸水・膨張・硬化を開始させる。尚、固粒体パイルの打設配置を図-1に示した。

5. 補強効果の概要

当橋脚の補強工事前、後における標準貫入試験、横方向載荷試験結果を表-3、表-4に、 P_1 橋脚地盤の砂層部における地震時流動化の判定結果を表-5に示した。

表-3 標準貫入試験結果

層区分	P_1 橋脚		P_2 橋脚	
	施工前	施工後	施工前	施工後
	平均N値	平均N値	平均N値	平均N値
第2層 (上部粘性土層)	2	4	3	5
第3層 (砂質粘性互層)	7	14	9	16
第4層 (砂質土層)	23	25	32	37

表-5 流動化の判定結果

P_1 - 1 橋脚用	単位	施工前	施工後
現地盤よりの深さ(X)	m	6.65	6.75
N値(N)	—	8	16
全上載土圧(σ_v)	kgt/cm ²	1,013	1,099
有効上載土圧(σ_v')	kgt/cm ²	0.450	0.492
$1.0 - 0.15 \times X$ (γd)	—	0.899	0.899
$V_1 \cdot V_2 \cdot V_3 \cdot K_s$ (K_s)	—	0.153	0.153
平均粒径(D_{av})	mm	0.50	0.12
地盤せん断応力比(L)	kgt/cm ²	0.31	0.31
動的せん断強度(R_d)	kgt/cm ²	0.23	0.32
"(R_d)	kgt/cm ²	-0.03	0.11
$R_1 + R_2$ (R)	kgt/cm ²	0.20	0.43
流動化抵抗係数(FL)	—	0.65	1.47
流動化の判定	—	有	無

6. あとがき

固粒体パイル工法による改良目的は、固粒体の吸水・膨張・硬化作用による地盤の強度増加を期待するものであり、調査結果より次のような改良効果が示されている。

- * N値・・・全体的に増加し、特に杭中央部の第3層(砂質・粘性土互層)が顕著である。
- * 横方向地盤係数・・・全ての層において増加している。
- * 一軸圧縮強度・・・軟弱な粘性土のみで実施、全体的に2~3割程度の増加が認められる。
- * 湿潤密度・・・採取試料の違いによるバラツキが見られるが、全体的に増加している。

さらに、施工後の地盤の諸数値を基に杭基礎の耐震性を見直した結果、 P_1 、 P_2 橋脚とも許容支持力が杭頭反力を上回り安全となり、 P_1 橋脚地盤の流動化抵抗係数(FL)も1以上となっている。また、補強工事前、後の橋脚上、橋脚地盤上における振動測定(3成分)を行った結果、施工後橋脚上の振幅は1/3程度に、橋脚地盤上で1/2程度に減少している。これは、固粒体パイル打設により既設杭の周辺地盤が固粒体の吸水・膨張作用により側面土圧が増加し、その後パイプの硬化体が形成され、剛性増加による補剛効果、及び、減衰効果が生じ、振動の制振効果が示されたものである。尚、本報告に当たり関係各位に深謝の意を表します。

《参考文献》 1)小野寺 政和:羽黒橋下部工補修計画について、建設省東北地方建設局内報、PP51~PP58、1985年8月。

2)昭和60年度 羽黒橋下部工補強工事地盤調査報告書、東北地方建設局山形工事事務所、昭和61年3月。

3)吉川 正昭、吉川 実、山岐 寛三:高架橋基礎の制振効果に関する実験的研究、土質工学会論文集、

図-1 固粒体パイル配置

および、調査位置図

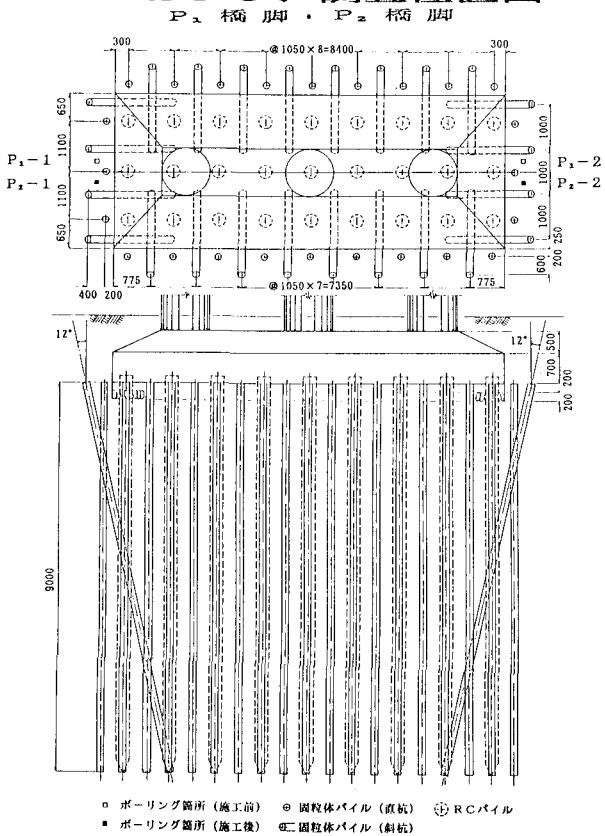


表-4 横方向載荷試験結果

位置	時期	深度(m)	土質	N値	静止土圧 P_0 kgt/cm ²	降伏圧 P_y kgt/cm ²	破壊圧 P_u kgt/cm ²	地盤係数 K_u kgt/cm ²	弾性係数 E kgt/cm ²
P_1 -1	施工前	4.50	シルト	9	0.56	1.86	2.76	2.95	18.18
	施工後	6.75	細粒砂	14	0.30	1.23	2.30	4.92	27.11
P_1 -2	施工前	6.20	中~	7	0.40	1.18	2.58	2.19	14.04
	施工後	8.00	粗粒砂	21	0.30	2.08	3.40	4.77	26.11
P_2 -2	施工前	7.00	シルト	7	0.15	0.88	2.35	1.29	7.35
	施工後	7.30	細粒砂	13	0.20	0.92	2.26	1.44	8.70