

I - B 308

液状化側方流動に対する橋脚基礎の補強方法

愛媛大学工学部 正会員 ○ 森 伸一郎
飛島建設土木設計部 正会員 寺澤 正人

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震では、大阪湾沿岸の阪神間にある多くの埋立地で液状化が発生し、液状化に伴う側方流動¹⁾により、道路橋の基礎は重大な被害を受けた²⁾。地震以前は実際の対策はほとんど考えられてこなかった。現在、新設構造物はもとより、既設構造物の基礎を対象とした側方流動に対する有効な補強方法が求められている。

著者の一人は、側方流動対策工法として隣接する橋脚基礎をPCケーブルによって連結するという工法を考案した。ここでは、工法の基本的な考え方を述べた後、実橋に対する適用性を検討した結果³⁾について述べる。

2. フーチング連結工法の基本的な考え方

側方流動による地盤の水平移動量は、一般的な傾向として、護岸近傍で最も大きく内陸に向かって徐々に小さくなる。このような地震被害の状況を踏まえ、1996年に改訂された道路橋示方書⁴⁾では、100m以内の橋梁では側方流動に対する影響を検討することが必要であると規定された。側方流動の影響を強く受けるのは、水際線に近い基礎であり、水際線から遠く離れるにしたがって基礎に及ぼす影響は小さくなることが理解できる。すなわち橋梁全体で見ると、一部は大きな荷重にさらされているが、残りは大きな荷重を受けず、本来持っている水平抵抗能力を十分に発揮していないと捉えられる。また、橋梁は、隣接する基礎が線形状に配置されるという特徴を有している。

著者の考案した工法は、これらの特徴に着目して、水際線に近い基礎と連続して隣接する基礎を剛性の高いタイ（PCケーブル）で連結することにより、水際線に近い基礎に作用する側方流動による荷重を、荷重をあまり受けず水平耐力に余裕のある基礎に分散して負担させ、基礎間の相対的な変形を抑制して、落橋や基礎の変形を抑制することを意図した工法である。護岸直角方向に伸びる橋梁や構造物の側方流動対策としての適用を前提としている。

3. 実橋を想定した本工法の適用性

(1) 想定した橋梁と地盤および荷重

図-1に想定した橋梁全体を示す。橋梁は、水路を横断しており、その線形は水路護岸法線に直交している。水路護岸に近い方から、橋脚をピア1, 2, 3, 4, 5とする。ピア1のフーチング端部は水際線から約20m離れており、ピア1-2間の距離は40m、ピア2-3, 3-4, 4-5の橋脚間距離は、それぞれ31mである。橋脚および基礎構造さらに地盤構成と地盤定数は各橋脚で同一である。基礎は、下端部がGL-4.5mに設置された幅12.25m、奥行き17.4m、厚さ2.5mのフーチングと長さ56m、直径1.5mの場所打ちコンクリート杭18本から成る。表-1に想定した地盤とその設計用地盤定数を示す。地表から、厚さ4.5mの表層盛土層（不飽和砂質土層）、厚さ10mの緩い砂層（設計上の液状化層）、厚さ21mの軟弱な沖積粘性土層、厚さ25mの深くなるに従いN値が増加する沖積砂質土層と続き、およそGL-60mで杭の支持層となる締まった砂質土層が現れる。地下水位をフーチング下面に相当するGL-4.5mとした。また、基礎杭頭部における水平方向の荷重～変位の非線形特性は、道路橋示方書⁴⁾（第11章）に従って計算され、全列の杭体が降伏するときの荷重 P_y 、変位 δ_y は(626tf, 7.6cm)であり、全列の杭体が終局に達する荷重 P_u 、変位 δ_u は(892tf, 22.3cm)である。許容水平変位 δ_a は $\delta_a = 2\delta_y = 15.2\text{cm}$ となり、側方流動荷重がそれに対応する荷重783tf以上であれば対策が必要となる。道路橋示方書⁴⁾に従って求められる側方流動荷重を、フーチング変位で等価になるように換算した集中荷重は1396tfとなったので、ピア1に1396tf、ピア2に1/2の798tfを考慮した。すると、ピア1, 2ともに対策が必要となる。

(2) 検討方法

本工法は、隣接する橋脚フーチングを連結するタイケーブルに高い剛性が要求される。ここでは、PCケーブルとして、破断強度360tf、弾性係数 $E=2.0 \times 10^4 \text{kg/cm}^2$ 、断面積 $A=18.75\text{cm}^2$ の性能を有するものを想定する。設計では、判断基準を、①橋脚フーチングの許容水平変位 δ_a の15.2cmと②独自に設定した橋脚間の許容開き量の10cm、とする。また、ケーブルの許容引張り力は、港湾規準⁵⁾によれば135.3tf/本となる。

図-2にモデル図を示す。ケーブルは軸力しか伝達しない弾性部材に、基礎は非線形特性を忠実にモデル化したマルチリニア型の非線形ばねにモデル化し、ピア1と2の橋脚の節点に前述の集中荷重を作用させた。

キーワード：液状化、側方流動、耐震補強、橋梁基礎

連絡先（790-8577 松山市文京町3 愛媛大学工学部 環境建設工学科 Phone 089-927-9818, Fax 089-927-9845）

(3) 検討結果

検討の結果、3基連結（ピア1-2間30本、ピア2-3間20本）で判断基準を満足する設計ができた。橋脚の許容水平変位、橋脚間の許容開き量ともに満足しており、ケーブルの許容引張り力に対する余裕度は4.3となる。ケーブルには剛性を求めているためであり、強度的には十分すぎる余裕がある。そこで、本工法の特徴を理解するために、4基連結、5基連結についても検討した。いずれの場合も各橋脚間の設置ケーブル本数は20本である。図-3に連結基数を変えたときの有効荷重（基礎反力）の変化を、図-4に連結基数を変えたときの基礎水平変位の変化を示す。図-4から、本工法が荷重を分散させる構造形式への変換工法であることがわかる。橋脚間の開き量はスムーズな変化が望ましいと考えられるので、設計で求められたものより連結基数を1基増やした場合（4基連結）が望ましい。

4. まとめ

橋梁に対する側方流動対策工法として考案した、隣接する橋脚基礎をPCケーブルによって連結するという工法の基本的な考え方と実橋を想定した適用可能性を示した。

参考文献

- 1) Hamada, M., Isoyama, R., and Wakamatsu, K.: The 1995 Hyogoken-Nanbu (Kobe) Earthquake Liquefaction, Ground Displacement and Soil Condition in Hanshin Area, ADEP, Waseda Univ. and JEC, 194pp., 1995.8
- 2) 兵庫県南部地震道路橋震害対策委員会：兵庫県南部地震における道路橋の被災に関する調査報告書, 1995.12
- 3) 森 伸一郎, 寺澤 正人, 林 栄司, 垣本 弘, 三輪 滋: 液状化側方流動対策としての隣接フーチング連結工法, アーバンインフラテクノロジー推進会議, 第9回技術研究発表論文集, pp.175-182, 1998.2
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編, 228pp., 1996.12
- 5) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説, 改訂版, 1989.6

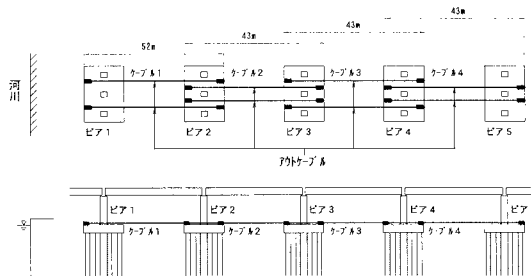


図-1 適用性検討に想定した橋梁全体図

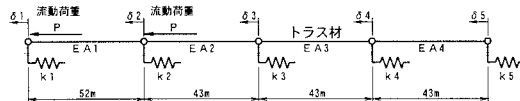


図-2 検討用モデル

表-1 地層構成と設計用地盤定数

地質	層厚	深度	N値	γ	t	C	ϕ	E	備考
表層盛土	4.5	4.5	3	1.6	0	30	84		不飽和土層
砂質土	10	14.5	3	1.8	0	27	0		液状化層
粘性土	21	35.5	2	1.6	2	0	56		不透水層
砂質土	25	60.5	26	1.9	0	35	728		
砂質土	—	—	50	2	0	35	1400		杭支持層

γ : 単位体積重量(tf/m^3), C: 粘着力(tf/m^2), ϕ : 内部摩擦角(deg)

E: 杭ラーメン保有耐力計算用弾性係数($E=28\text{N}(\text{Kg}/\text{cm}^2)$)

層厚: m, 深度: m, 地下水位: GL-4.5m

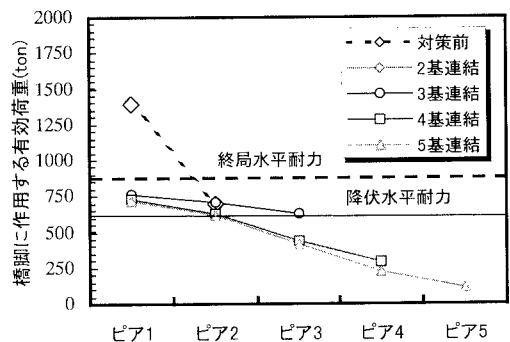


図-3 連結基数を変えたときの有効荷重の変化

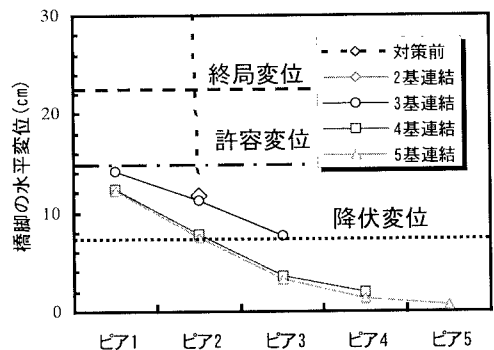


図-4 連結基数を変えたときの基礎水平変位の変化