

## 東京港臨海大橋 主橋脚部に用いる新技術

関東地方整備局 横浜港湾空港技術調査事務所 設計室 飯塚 知浩

東京港臨海道路は、物流機能の向上、周辺道路混雑の緩和、交通の利便性向上を目的として、東京港湾岸道路沖側埋立地間を結ぶルートを計画している。延長約8kmのうち、第一期については第一航路を横断する臨海トンネルを含む約3.4kmで、東京都の事業として整備され、現在供用されている。第二期については東京港第三航路を横断する東京港臨海大橋（仮称）を含む約4.6km区間で、平成14年度より直轄にて事業を開始した（図-1）。

本橋は橋長760mで、設計条件は図-2の通りである。本橋の主橋脚（MP2、MP3）の特徴としては、次の2点が挙げられる。上部工反力100,000kNという大反力を支持すること。

Ac2層というN値ゼロの軟弱な粘土層が約30m堆積し、支持層が深いこと。このため、主橋脚の設計においては、すべり型免震支承・軽量コンクリート・縞鋼板継手・大口径杭の載荷試験など、新技術および新工法の採用を視野に入れた各種検討を実施し、経済的な構造となるように工夫している。今回は“ズレ”をキーワードに すべり型免震支承（日本最大規模）と 縞鋼管継手（採用実績が少ない）の2つの報告を行う。



図-1 位置図



図-2 構造図および設計条件

### 1. 支承に用いた新技術（すべり型免震支承）

#### (1) 支承構造の決定経緯

上部構造から伝達される地震時水平力を低減することができる、これを支持する構造の規模を小さくすることができる。その方法のひとつに、下部構造躯体の塑性化による変形で地震時水平力を吸収させる方法がある。しかし、本橋の下部構造躯体は全体構造の規模に対して小さく、地震時に有効な塑性化を期待することが難しい。大規模橋梁なので、橋脚基部に発生した残留変位を地震後に復旧することが困難である。これらのことから、下部構造躯体の塑性化は本橋に不適と判断した。そこで、地震時水平力を支承部で低減（免震）することを目的として、免震支承構造を採用した。

免震支承について構造比較を行ったところ、本橋に発生する地震時水平力は、これまでの免震支承の実績の約3倍に達する。このため、従来型の支承では工場の製造能力を超える。そこで、支承の各機能を役割の異なる2つの支承（荷重支持版とバッファ）で分担することによってコンパクトにできる“すべり型免震支承を採用”した。コストや維持管理も

含め、すべり型免震支承は従来型と比べ総合的に優位であることがわかる（表-1）。

表-1 免震支承の比較検討

	すべり型免震支承（採用）	従来型の代表／鉛プラグ型ゴム支承（不採用）
構造	<p>単位：mm</p> <p>荷重支持版 鉛直力 単純に支持する。水平力 荷重支持版が水平方向にズれることにより力を減衰させる。 バッファー 鉛直力 支持しない。水平力 バッファ（ゴム製）により往復運動させる。</p>	<p>単位：mm</p> <p>積層ゴムの中に鉛直に配置された鉛プラグの塑性変形により減衰効果を持つ支承である。</p>
製造設備	鉛直、水平支承ともに現在の製造設備で <b>製造可能</b>	現在の製造の設備で可能な製作寸法をやや上回る
品質管理	ゴムの露出面が小さく維持管理は左案に比べ容易。	ゴムの露出面が多く十分な維持管理が必要。
取替え	各支承規模が小さく、支承取り替えは可能。	支承規模が大きく、取り替え工事は不可能。
経済性	1.00（支承材料・製作）	1.70（支承材料・製作）設備投資は除く

### (2) 載荷試験の必要性

すべり型免震支承の荷重支持版（写真-1）は、すべり面が“ズレ”ることによって発生する“摩擦力”で、地震力を減衰する構造である。このため、荷重支持版の摩擦係数の設定が耐震設計におけるポイントとなる。

摩擦係数は、すべり面に作用する圧力（面圧）に応じて変化することが知られている。本橋のように 上部構造の重心が高く、同一橋脚上の支承間の距離も長い構造の場合には、橋軸直角方向の軸力変化が生じやすく、これに応じて面圧も変化する（図-3）。

一般の桁橋などでは、常時に対する地震時の軸力変化が20%程度であるが、本橋では100%程度と大きいため、この影響は無視できない。よって、面圧に依存した摩擦係数の変化を確認する必要がある。

また、載荷速度によっても摩擦係数が変化することが知られているためこれも確認する必要がある。これらを、鉛直方向と水平方向の力を再現することのできる2軸方向の載荷試験により確認することとした。

摩擦係数の変化に関する基本的な解析モデル式は既往の研究により提案されており、今回の試験ではこれをもとに本橋に適した解析モデル式を設定した。

### (3) 載荷試験のまとめ

載荷試験の結果、式-1を提案した。表-2 で提案値に対して上限値および下限値とあるのは、設計に際して安全側の値を選択できるように配慮したためである。また、本橋に適した摩擦係数の比較を目的として、摩擦係数の異なる2種類の供試体について値を設定した。



写真-1 荷重支持版

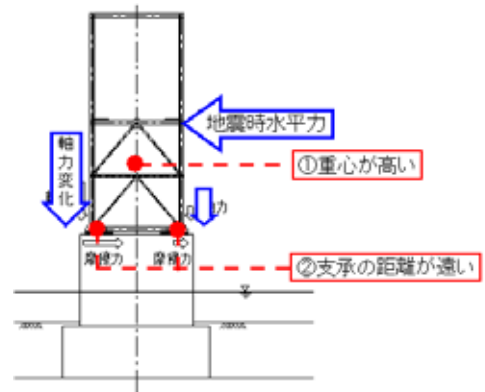


図-3 主橋脚断面図

$$\mu (P,V) = [S' \{ 1 - \exp(-nV) \} \{ 1 - \exp(-kP) \} / P + ] \dots\dots\dots \text{式-1}$$

ここに  $\mu$  : 摩擦係数

P : 面圧 (kN/cm<sup>2</sup>)

V : すべり速度 (cm/S)

S', k, , , n

: 材料パラメータ

表-2 材料パラメータの設定

		S'	k		n	
摩擦係数 0.15	上限値	1.4	0.085	0.040	1.85	0.25
	提案値			0.025		
	下限値			0.008		
摩擦係数 0.10	上限値	1.0	0.150	0.045	1.50	0.10
	提案値			0.025		
	下限値			0.005		

(4)摩擦係数の比較

載荷試験の結果を受け、2つの供試体について本橋に適用した場合における比較検討を行った。その結果、両者の免震効果に有意な差がないが、摩擦係数 0.15 の供試体はデータのばらつきが少なかったことや、使用実績が多いことから採用と判断した。

表-3 摩擦係数の比較検討

	摩擦係数 0.15 (採用)		摩擦係数 0.10 (不採用)	
	レベル1 (kN)	レベル2 (kN)	レベル1 (kN)	レベル2 (kN)
地震時水平力				
橋軸方向	52,470	146,310	49,489	146,440
直角方向	45,753	180,460	44,574	180,780
評 価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・免震支承としての使用実績が多い。</li> <li>・免震効果は、ほとんど同等である。</li> <li>・第2案と比べ</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・免震支承としての使用実績がない。</li> <li>・免震効果は、ほとんど同等である</li> <li>・第1案と比べ</li> </ul>	
	やや実験データのバラツキが少ない		やや実験データにバラツキがある。	

2. 基礎に用いた新技術 (縞鋼管継手)

(1)縞鋼管継手の採用経緯

本橋の基礎は、鋼管矢板井筒基礎で計画している。地震時は、鋼管矢板相互の“せん断変形” (写真-2) が卓越する特徴がある。鋼管矢板同士をつなぐ継手のせん断特性 (“ズレ”にくい事) が耐震設計上のポイントとなる。

従来の素管継手を用いた基礎の安定計算結果では、地震時に大きなせん断変形を受け、鋼管に作用する断面力が増加し、これらを許容値内に抑えるために鋼管の本数や肉厚を増加させる必要があった。それに対して縞鋼管継手は 継手鋼管の内側に縞状の突起をつける (写真-3) また 継手に充填するモルタルの強度を 40 MPa にアップする。などの特徴を有し、従来の素管継手よりも優れたせん断特性を発揮することが期待できる。このため、縞鋼管継手を用いると鋼管矢板井筒基礎全体の剛性が増し、鋼管に作用する断面力が減少することから、杭本数を減らすことができ、コスト縮減が可能である。

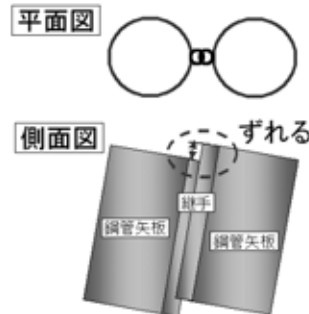


写真-2 せん断変形のイメージ

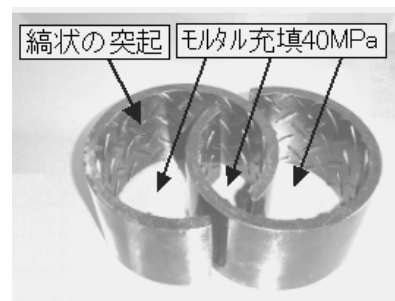


写真-3 縞鋼管継手

(2)載荷試験

縞鋼管継手は、過去に採用された実績も少なく、これらに関する研究も数少ない。このことからせん断特性を把握するため、押抜きせん断試験により、縞鋼管継手にせん断力を

作用させて継手の相対ずれを追跡し、せん断耐力およびせん断剛性の設定を行った。

載荷試験の結果、図-4 に示すような結果を得ることができた。せん断耐力の設定は P - 曲線ですれ変位が急変する点（降伏点:1,440kN/m）に対して、安全率：1.25（倍率 0.8）を見込んだ値をレベル2地震時せん断耐力(1,150kN/m)とした。せん断剛性については、荷重変位曲線の包絡線とレベル2地震時せん断耐力曲線との交点と原点を結ぶ割線剛性とした。なお、レベル1および常時についてはそれぞれ応力の上限值を設け、弾性範囲内での挙動における許容値を設定することとした。なお、素管継手（充填モルタル 20Mpa せん断耐力 200kN/m）と比較すると、約6倍せん断耐力が向上することがわかった。

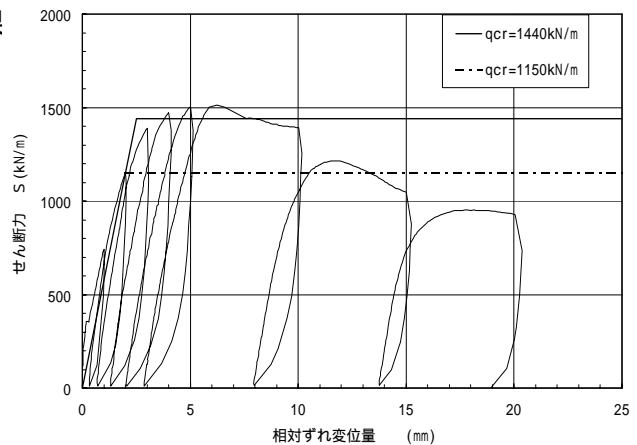


図-4 縞鋼管継手のせん断特性

### (3) 縞鋼管継手採用による効果

縞鋼管継手と素管継手について、本橋の基礎に適用した場合について比較を行った結果、縞鋼管継手のほうが杭本数を35%減少できることがわかった。

表-4 縞鋼管継手の効果

	縞鋼管継手	素管継手
構造形状		
	単位：mm	単位：mm
基礎作用力	L2：H = 150,300kN，M = 3,891,700kN・m	L1：H = 61,800kN，M = 1,259,700kN・m
せん断耐力	L1 = 60,299kN，L2 = 60,299kN	L1 = 14,877kN，L2 = 22,372kN
杭本数	93本（比率：0.65）	144本（比率：1.00）

おわりに

今回は“ズレ”をキーワードに すべり型免震支承と 縞鋼管継手の報告を行った。東京港臨海大橋は、平成22年度の完成に向け、今年度は全工区の細部設計を行っている。着工の日は刻々と迫っている。今回のような新技術採用の検討は、経済的なメリット、工期短縮を含むあらゆる可能性を秘めている。その積極的な活用は今後の同様な事例のさきがけになると考えている。工期は“ズレ”ない範囲で、できる限りの新技術への挑戦を今後も続けてゆきたい。