

(148) 長大橋梁基礎の免震構造

㈱オリエンタルコンサルタンツ 正会員 橋 義 規
林 家 祥
正会員 田 中 努

1. まえがき

本四連絡橋等の長大橋の下部構造は、堅固な地盤の上にマッシブなコンクリート塊からなる基礎を設けているため、固有周期が短く、慣性力が大きく、躯体内部の減衰は小さい。さらに支間が延びれば、基礎がより大型化し、基礎自身の慣性力による地盤反力の軽減のため、基礎底面の拡大が必要になる。

しかし、第二国土軸に計画される超長大橋梁の基礎を、現在施工中の明石海峡大橋と同形式の延長線上で施工すると、単位橋長当たりの工事費が大幅に増加することは明らかであり、この工事費の増大は、社会資本としての投資効果や利用者の負担から見た場合、事業の成立をも左右することになる。

本研究は、上記の事項を踏まえ、基礎躯体に作用する慣性力の底面地盤反力に及ぼす影響を低減させる目的で、長大橋梁基礎の免震構造について研究したものである。なお、筆者らはすでに、剛体基礎底面を免震化することで、基礎の応答値をかなり低減できることを確認している¹⁾。ここでは、基礎躯体の慣性力を低減させる構造の一つである、躯体の軽量化を狙ったツインタワー基礎²⁾の免震構造化も含め検討した。

2. 免震基礎の基本構造と検討モデル

(1) 基本構造

免震基礎の基本構造として、以下の2つの構造を研究の対象とした。

- ・明石海峡大橋に代表される剛体基礎（図-1参照）の底面付近に、免震デバイスを設置した構造。
- ・大水深下の基礎として考案されたツインタワー基礎（図-2参照）に、同様に免震デバイスを適用した構造。

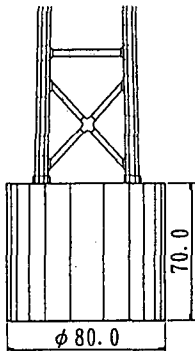


図-1 明石海峡大橋の主塔基礎

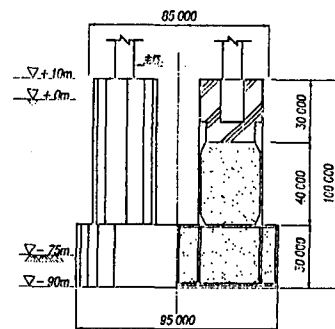


図-2 ツインタワー基礎の概念図²⁾

(2) 検討モデルの設定

水深70m下に建設される直径80mの吊橋主塔基礎を対象に、以下の方針でモデル化を行った（図-3参照）。

- ・免震デバイスとして高減衰ゴムを考え、剛性Gおよび減衰hは、ひずみの高次方程式で表現されるものとする³⁾。

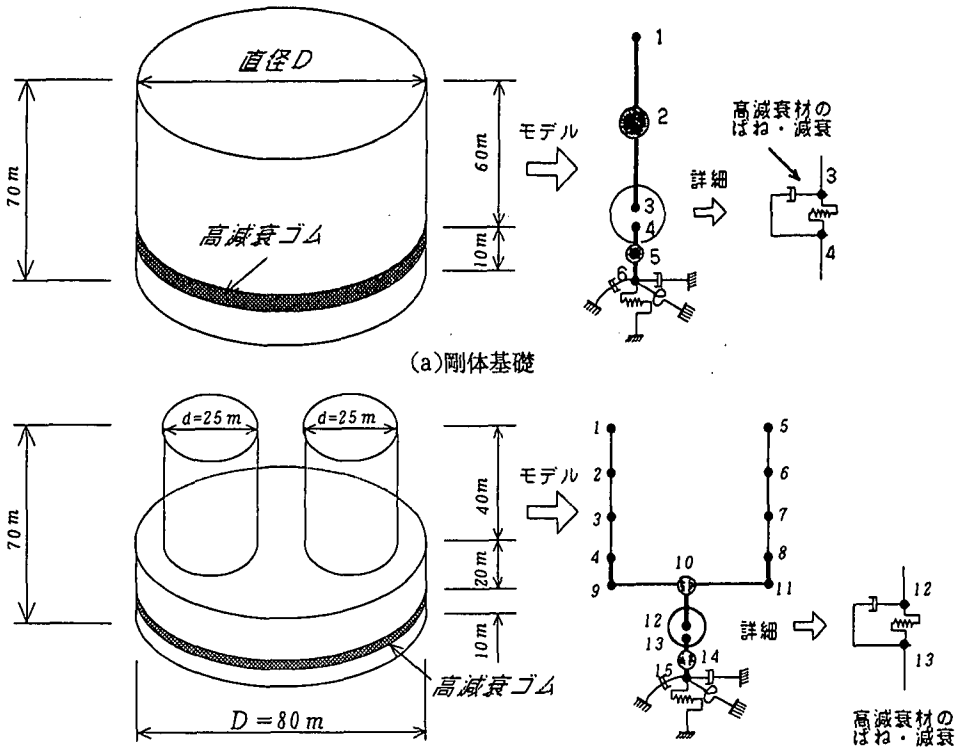
$$G(\gamma) = a_0 + a_1 \gamma + a_2 \gamma^2 + a_3 \gamma^3 + a_4 \gamma^4$$

$$h(\gamma) = b_0 + b_1 \gamma + b_2 \gamma^2 + b_3 \gamma^3$$

- ・地震時の上部構造反力の増加分は1割程度であるため、解析では上部構造反力を無視し、基礎自体の免震効果を確認する。
- ・入力地震動は、保有水平耐力照査レベルのⅠ種地盤用標準波形を用いる³⁾。
- ・地盤ばねおよび地盤の減衰係数として、基礎～地盤間の動的相互作用を考慮した、振動数に依存しない

い値を用いる。支持地盤は岩盤 ($V_s=600\text{m/s}$) を想定する。

- ・水の存在を無視し、付加質量や造波減衰を考慮しない。
- ・躯体内部減衰は $h_b=1\%$ と仮定する。



(a)剛体基礎

(b)ツインタワー基礎

図-3 解析モデル

表-1 地盤ばねと減衰係数

基礎径80m		
ばね定数 (tf/m)	並進	1.42×10^7
	回転	19.3×10^9
減衰係数 (tf・s/m)	並進	5.22×10^5
	回転	3.86×10^8

表-2 モデルの質量

	剛体基礎	ツインタワー基礎
並進質量 ($t \cdot s^2/m$)	質点2	7.35×10^4
	質点5	1.22×10^4
	質点10	2.41×10^4
回転慣性 ($t \cdot m \cdot s^2$)	質点2	5.15×10^7
	質点5	4.98×10^6
	質点14	1.22×10^4

3. 免震効果の分析

免震効果と免震デバイスのばね定数の関連を調べるために、免震デバイスのばねの硬さを5ケース設定し地盤反力や躯体の応答値を算定した。なお、免震デバイスの標準的な仕様は、以下のように設定した。

- ①高減衰ゴムは、製作、運搬、設置の容易さも勘案して、 $1000 \times 1000 \times 50\text{mm}$ の単層ゴムを考えた。
- ②高減衰ゴムの使用枚数は、死荷重との関係から500枚を標準とした。

図-4～7に解析結果を示す。ここで、図中のK₀は初期剛性を表すもので、同じ初期剛性を用いた計算であっても、基礎形式によりデバイスに生じるせん断ひずみが異なるため、剛性や減衰が同一にはなっていない。また、ツインタワー基礎では、洪積地盤を支持層とした場合の計算結果も示してあるが、これに関しては後述する。図-4、5の地盤反力の算定結果によれば、ツインタワー基礎(岩盤)の方が剛体基礎に比べて地盤反力は小さいが、免震基礎としての効果は剛体基礎の方が大きくなっている。また、図-6、7に

よれば、免震化することによる加速度低減の割合は剛体基礎の方が大きく、増加する変位の割合は逆にツインタワー基礎の方が大きい。地震による地盤反力の増加分や躯体の応答値だけを考えれば、剛体基礎を免震化することで、軽量化を図ったツインタワー基礎やさらにそれを免震化した基礎と同程度の効果（例えば基礎径の縮小）が得られることになる。

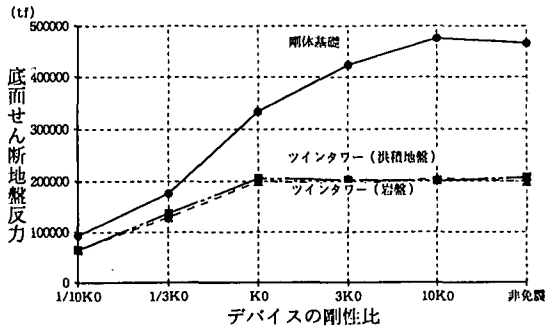


図-4 底面地盤のせん断地盤反力

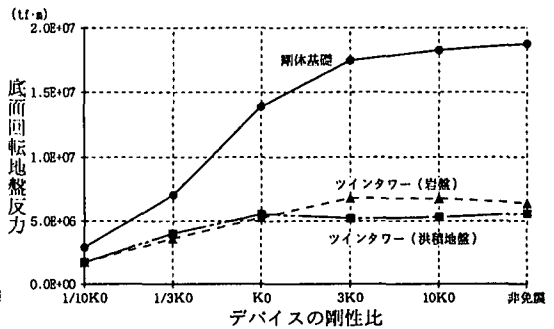


図-5 回転地盤のせん断地盤反力

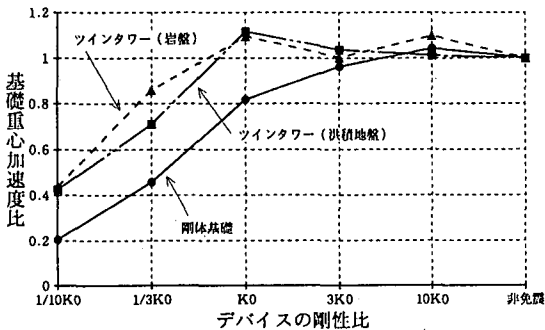


図-6 非免震基礎に対する加速度率

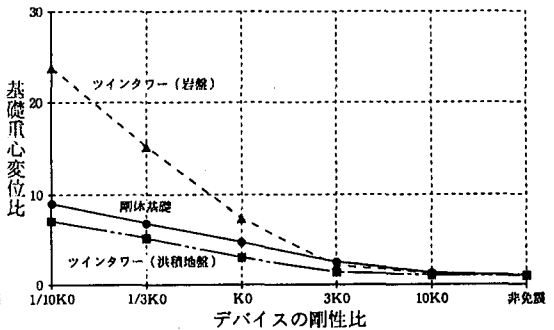


図-7 非免震基礎に対する変位比率

さて、免震効果の判断材料の一つとして、免震化によりどの程度の長周期化が図られたかを検討する。今回の解析では、免震デバイスの剛性をひずみに依存した非線形モデルで考慮したため、一般的な意味での固有周期は存在しないが、最大変形時の免震デバイスの剛性と免震デバイスが支えている並進質量のみに着目して固有周期を算定した。図-8は、このようにして得られた固有周期を非免震の固有周期（基礎躯体の質量と地盤ばねによる）で正規化したものである。ツインタワー基礎では、躯体質量が剛体基礎よりも小さいため、剛性が大きい範囲では同じデバイスを用いても、長周期化が顕著には生じていないことがわかる。このことが、剛性が大きい範囲で地盤反力がほとんど低減されない一因と考えられる。

また、図-9は、デバイスのせん断変形量に着目して整理した結果であるが、全体的に剛体基礎の方が変形量が大きく、免震化の効果が大きい裏付けとなっている。しかしながら、デバイスの変形量が多いことはデバイス自体の設計・製作が難しくなることにもつながる。そこで、地盤反力の低減率とデバイスの変形量の関係を調べた。図-10, 11は、地盤反力の非免震の場合に対する比率に対するデバイスの変形量の関係を示すものであるが、同程度の地盤反力の低減を期待する場合、必要とされるデバイスの変形量は、基礎形式にかかわらず、同程度となることがわかる。但し、同一のデバイス変形量であっても、地盤反力値そのものは剛体基礎の方が大きくなるのは、図-4, 5に示したとおりである。

4. 洪積地盤への適用性の検討

ツインタワー基礎に関しては、中実の剛体基礎に比べて大幅に死荷重が軽減されるため、比較的堅固な洪積地盤を支持層とし、基礎の根入れを浅くすることが可能と考えられる。そこで、 $V_s=300\text{m/s}$ 程度の洪積地盤に適用した場合についても同様に検討を行った。結果は、図-4～9に併記したとおりで、地盤反力や

基礎の応答値に関しては、岩盤上に構築した場合と大差ない結果となった。但し、岩盤に比べれば洪積地盤の地盤耐力はかなり小さいと考えられるため、非免震では根入れを深くしなければならないものが、免震化することによって根入れを浅くできるケースが生じる可能性があると考えられる。

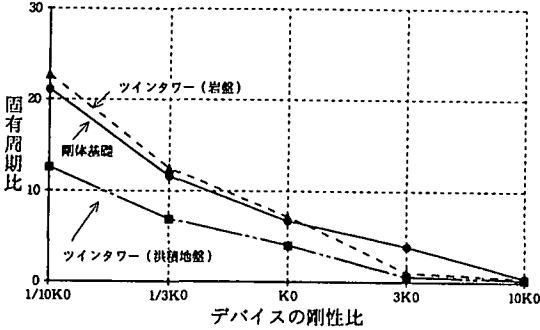


図-8 非免震基礎に対する固有周期の比率

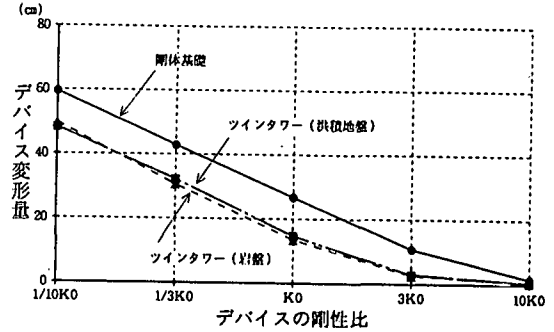


図-9 デバイスのせん断変形量

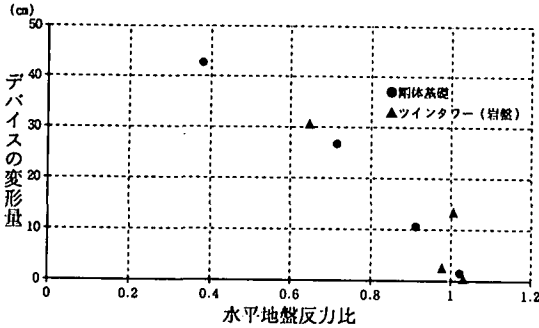


図-10 水平地盤反力とデバイスの変形量

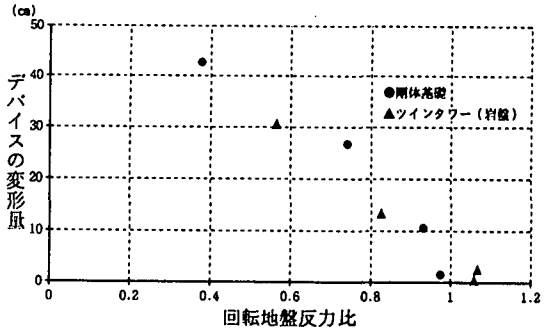


図-11 回転地盤反力とデバイスの変形量

5. あとがき

以上のように、剛体基礎およびツインタワー基礎とも免震化により地盤反力を低減することが可能で、免震化の効果は剛体基礎の方が大きいことがわかった。また、死荷重の軽減を狙ったツインタワー基礎の免震化は、地盤耐力の大きい岩盤よりも、小さい洪積地盤の方が適用した場合の効果の大きいと考えられた。

別途行った試算結果では、自重も含めた地盤反力度の比較から、非免震の外径80mの基礎よりも、免震化した外径70mの基礎の方が地盤反力度が小さくなり、免震化により基礎径を絞ることが可能であることも具体的にわかっている。しかし、基礎径は基礎の安定のみならず、主塔の取付位置や寸法形状の関係からも制約を受けるため、円形基礎の場合は縮小化に限度がある。今後は、小判型等の形状に関しても検討が必要であろう。さらに、免震効果を大きくするためには、デバイスの変形量も大きくしなければならないことや、免震化することにより、トータルコストの低減を図らねばならないことから、基礎免震に適用できるデバイスの研究開発が必須である。

本研究は、建設省土木研究所・(財)土木研究センター・民間19社による共同研究「高減衰材料を用いた長大橋の免震技術の開発」の1テーマとして実施したものであり、関係各位に謝意を表する。

【参考文献】

- 1) 橘, 田中: 長大橋下部構造の高減衰化の試み, 土木学会第49回年次学術講演会 第1部門, 平成6年9月
- 2) 山縣, 田中: 超長大橋梁の基礎に求められる耐震構造, 土木学会論文報告集に投稿中
- 3) (財)土木研究センター: 建設省 道路橋の免震設計法マニュアル(案), 平成4年12月
- 4) 土木学会耐震工学委員会 動的相互作用小委員会: 基礎・地盤・構造物系の動的相互作用, 平成4年9月