

既設 R C 橋脚の耐震性に関する特性分析

緒方 辰男¹・西 浩嗣²・坂口 幸路³・大塚 篤生⁴・亀井 与志⁵

¹ 日本道路公団 技術部構造技術課 (〒100-8979 東京都千代田区霞ヶ関 3-3-2)
² 日本道路公団 東京第一管理局保全部保全第二課 (〒216-8510 川崎市宮前区南平台 1-1)
³ 日本道路公団 東京第一管理局保全部保全第二課 (〒216-8510 川崎市宮前区南平台 1-1)
⁴ (株)建設技術研究所 東京支社道路本部技術第四部 (〒103-8430 東京都中央区日本橋本町 4-9-11)
⁵ (株)建設技術研究所 東京支社道路本部技術第四部 (〒103-8430 東京都中央区日本橋本町 4-9-11)

1. 序論

表-1 固定橋脚数

平成7年の兵庫県南部地震以降、多くの機関で土木構造物の耐震補強が進められてきている。
従来、日本道路公団東京第一管理局においては、図-1 に示すような連続けた橋の R C 橋脚の耐震補強として、固定橋脚については R C 巻立てによる補強を行い、可動橋脚に対しては主に鉄筋段落とし部の補強を実施してきているが、道路橋示方書の改訂等に伴い、落橋防止システム等を含めた橋梁全体系を考慮した耐震補強設計が求められることから、今後の橋脚耐震補強の方向性を検討している。
その一貫として、表-1 に示すような東名高速道路（東京－三ヶ日）の固定橋脚、988脚のせん断スパン比と上部工負担重量との関係を基に、R C 橋脚の耐震性に関する特性分析を行った。

橋 脚 形 状	橋 脚 数
柱 式	59
独立 2 本柱	443
独立 3 本柱	261
独立 4 本柱	45
独立 5 本柱	4
壁 式	67
円 柱	109
計	988

2. R C 橋脚のせん断スパン比と単位面積あたりの負担重量の関係

東名高速道路（東京－三ヶ日）の橋梁における、

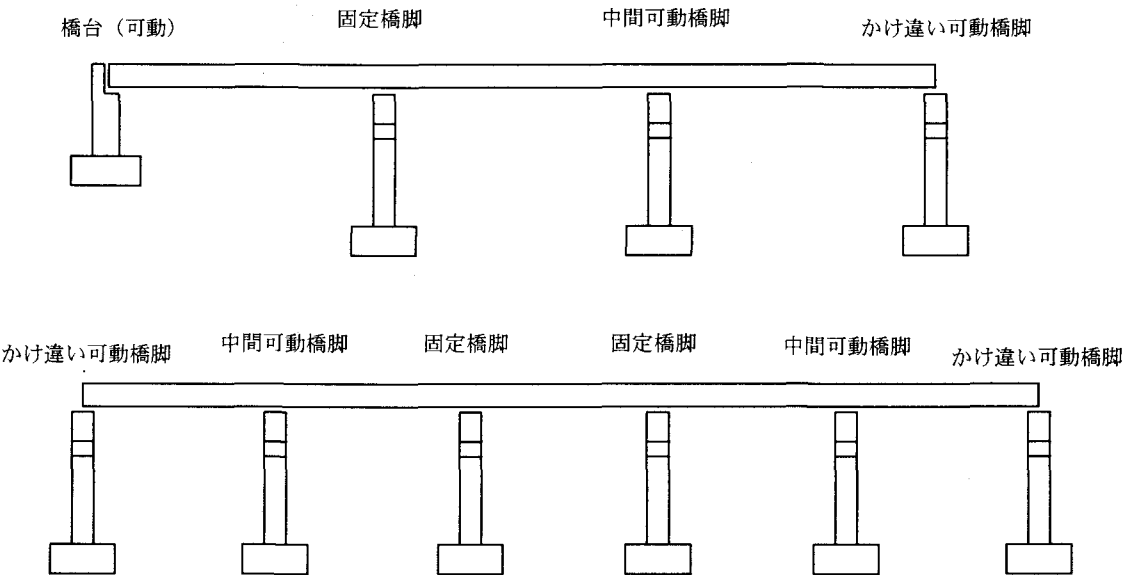


図-1 固定橋脚を有する連続けた橋

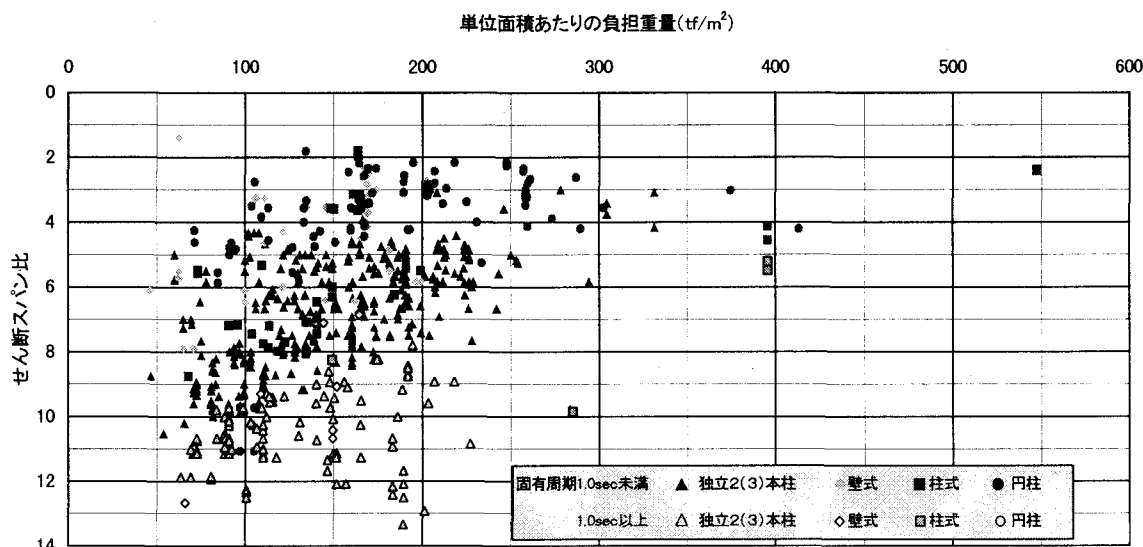


図-3 橋脚のせん断スパン比と単位面積あたりの負担重量の関係

R C固定橋脚のせん断スパン比と単位面積あたりの負担重量は、以下のように算出する。

$$\sigma = W / A = W / (B \cdot D) \quad (1)$$

$$R = H / D \quad (2)$$

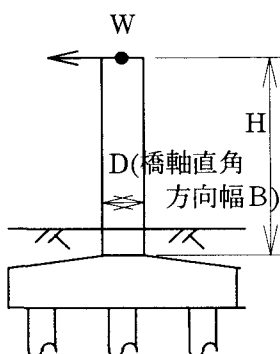


図-2 R C固定橋脚

ここに、 σ ：単位面積あたりの負担重量、 R ：せん断スパン比、 W ：固定橋脚が支持する上部構造の重量 (tf)、 D ：橋脚の橋軸方向断面幅 (m)、 B ：橋脚の橋軸直角方向断面幅 (m)、 A ：橋脚の断面積 (m^2) $A = B \cdot D$ 、 H ：柱矩体高さ (m)である。

また各橋梁の橋脚形態の違いにより、①独立2(3)本柱式橋脚、②壁式橋脚、③柱式橋脚、④円柱式橋脚の4種類の橋脚に分類し、さらに固有周期についても1.0secを境として分類した。R C橋脚のせん断スパン比と単位面積あたりの負担重量の関係を図-3に示す。

3. せん断スパン比と単位面積あたりの負担重量／固有周期の関係

図-3より、固有周期が長い橋脚は、せん断スパン比および単位面積あたりの負担重量ともに大き

い傾向にあることが確認できる。そこで単位面積あたりの負担重量／固有周期を用い、せん断スパン比との関係を調べることにした。

ここで固有周期は、以下に示す式変形を行い算出することとした。

固有周期 T は、一般に以下のように求められる。

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{Kg}} = 2.01 \sqrt{\frac{W}{K}} \quad (3)$$

式(3)に $K = \frac{3EI}{H^3}$, $I = \frac{BD^3}{12}$ を代入すると以下のように変形できる。

$$\begin{aligned} T &= 2.01 \sqrt{\frac{WH^3}{3EI}} \\ &= 2.01 \sqrt{\frac{12WH^3}{3EBD^3}} \\ &= 4 \sqrt{\frac{\sigma}{E} \left(\frac{D}{H} \right) \cdot H \cdot R^3} \end{aligned} \quad (4)$$

以上より、固有周期 T は式(5)の様に表すことができる。

$$T = 4R \sqrt{\frac{\sigma H}{E}} \quad (5)$$

ここで、 K ：剛性、 I ：断面2次モーメント、 E ：ヤング係数である。

式(5)より、固有周期は地盤の影響を無視して算出することとした。

以上より得られた固有周期を用いて、せん断スパン比と単位面積あたりの負担重量／固有周期の関係を図-4に示す。

ここで、図-3における指標となっている単位面積あたりの負担重量／固有周期に関しては、以下のように示すことができる。

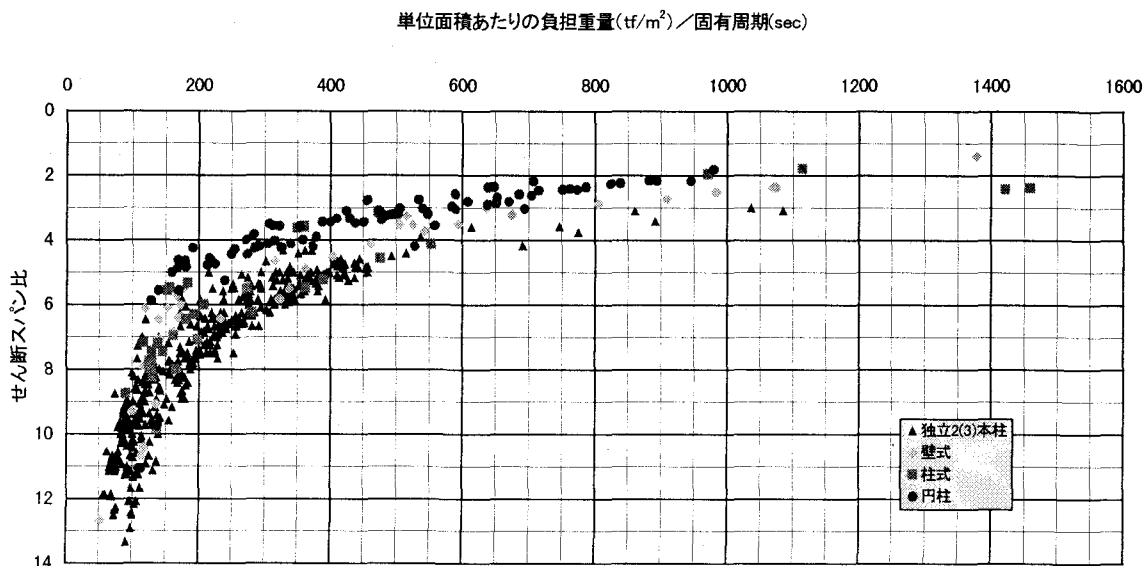


図-4 橋脚のせん断スパン比と単位面積あたりの負担重量／固有周期の関係

$$\begin{aligned}
 \frac{W/A}{T} &= \frac{W}{A} \cdot \frac{1}{2.01\sqrt{W/K}} \\
 &= \frac{\sqrt{g}}{2.01} \sqrt{MK} \\
 &= \frac{\sqrt{g}}{4} \times 2\sqrt{MK} \quad (6)
 \end{aligned}$$

ところで、1自由度系1質点系の減衰自由振動の運動方程式は以下ようになる。

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad (7)$$

式(7)の両辺を m で割り、 $c/m = 2h\omega$ 、 $k/m = \omega^2$ とおくと、特性方程式は以下のように表せられる。

$$\lambda^2 + 2h\omega\lambda + \omega^2 = 0 \quad (8)$$

式(8)は λ の2次方程式であるので、その解は以下

のようになる。

$$\begin{aligned}
 \lambda_{1,2} &= -h\omega \pm \omega\sqrt{h^2 - 1} \\
 &= -\frac{c}{2m} \pm \sqrt{\left(\frac{c}{2m}\right)^2 - \frac{k}{m}} \quad (9)
 \end{aligned}$$

式(9)の根号内が0になるときの減衰は、臨界減衰と呼ばれている。いま臨界減衰を与える減衰係数 c を c_{crit} とすると、式(9)の根号内が0となるので、 c_{crit} は、以下ようになる。

$$c_{crit} = 2\sqrt{km} \quad (10)$$

よって式(6)および(10)より、単位面積あたりの負担重量／固有周期は、(係数) × (臨界減衰) という形となるのが確認できる。

図-4 より、RC橋脚はある曲線上に分布しているのが確認できる。

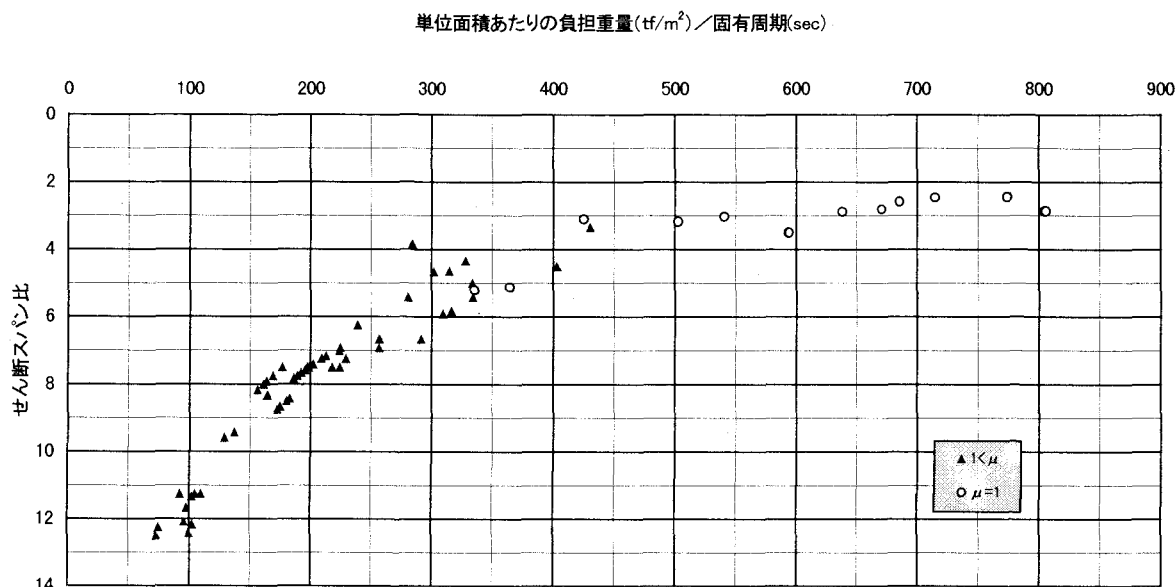


図-5 設計じん性率を考慮した橋脚のせん断スパン比と単位面積あたりの負担重量／固有周期の関係

4. 設計じん性率の導入

図-4 の各データに対して、設計じん性率 μ_d を導入し、既設RC橋脚の耐震性に関する特性を分析することとした。

設計じん性率 μ_d は、土木学会のコンクリート標準示方書・耐震設計編¹⁾より、以下に示すようにして算出できる。

$$\mu_d = [\mu_0 + (1 - \mu_0)(\sigma_0/\sigma_b)]/\gamma_b \quad (11)$$

$$\text{ここに、} \mu_0 = 12(0.5V_{cd} + V_{sd})/V_{mu} - 3 \quad (12)$$

ただし、 σ_0 ：軸圧縮応力度、 σ_b ：釣合破壊時の軸圧縮応力度、 γ_b ：部材係数、 V_{cd} ：コンクリートの設計せん断耐力、 V_{sd} ：鉄筋の設計せん断耐力、 V_{mu} ：部材が曲げ耐力に達するときの部材各断面のせん断力を表す。

図-4 について、式(11)により得られた設計じん性率を考慮すると、図-5 のようになる。ただし、式(11)および(12)より設計じん性率を算出する場合においては、橋脚の鉄筋量を求める必要があるため、図面より配筋状態を確認できるものを抽出することとした。図-5 に示される橋脚形式は、表-2 に示す通りである。

表-2 橋脚形式と橋脚数

橋脚形式	橋脚数
独立2（3）本柱	74
壁 式	6
円 柱 式	16
計	96

図-5 より、RC橋脚は設計じん性率を考慮することによって単位面積あたりの負担重量／固有周期の値によってある程度分類することができると考えられる。

5. RC橋脚の分類

図-5 において、設計じん性率を考慮することによって単位面積あたりの負担重量／固有周期の値でRC橋脚を分類することができるとされる。

そこで、RC橋脚を表-3 に示すように分類することとした。

6. 結論

約30年前の基準で設計を行った東名高速道路の約1000基のRC橋脚について分析を行ったところ、設計じん性率 μ_d を考慮することによって、単位面積あたりの負担重量／固有周期の値で、既設のRC橋脚の破壊形態についてある程度分類することができるとされる。

既設RC橋脚の耐震補強設計の一つの考え方として、領域AにおいてはRC橋脚単独で補強設計を行い、領域BにおいてはRC橋脚単独の補強設計を行い、必要巻立て厚35cm、必要補強鉄筋D38、1段配筋を越える場合は、橋梁全体系で補強設計を行い、領域Cに関しては橋梁全体系で補強設計を行うという方法を提案できるのではないかと考えられる。

参考文献

1)コンクリート標準示方書 耐震設計編：土木学会，1997。

表-3 RC橋脚の分類

	負担重量(tf/m ²)／ 固有周期(s)	RC橋脚の破壊形態
領域A	～300	曲げ破壊先行型と推定される。
領域B	300～400	曲げ破壊型からせん断破壊型への遷移域と推定される。
領域C	400～	せん断破壊先行型と推定される。