

現行設計法に基づく免震設計の比較検討に関する研究

豊橋技術科学大学大学院

○上高原 正弘

豊橋技術科学大学 正員

Leelawat Chartchai

豊橋技術科学大学 正員

栗林 栄一

1. まえがき

ニュージーランドや米国等の諸外国で免震設計が橋梁に盛んに行われている。これは、アイソレーターやダンパーといった装置を用いて構造物の地震時振動を低減するという考え方の設計法であり、近年、橋への適用が可能となってきたことから脚光を浴びている。日本の道路橋においても、この設計法が導入され始め、「免震設計 (Menshin Design)」として、(財) 国土技術開発センターから平成元年に最初の道路橋示方書 V 耐震設計編に基づく道路橋の免震設計法ガイドライン (案) が出された。

しかし、我国における橋梁設計に関する示方書には、道路橋示方書とコンクリート標準示方書の二種類がある。コンクリート標準示方書に規定されている限界状態設計法は、主に、鉄道橋において採用されているが、近年、道路橋示方書においても、構造部材の塑性化を考慮し、照査及び検討を行うといった限界状態設計法の考え方が導入されつつある。

そこで、本研究では、先のそれぞれの示方書に基づく免震設計法を考慮する必要があると考え、その研究の第一歩として、それぞれの示方書によって設計された橋梁に対し免震設計を施し、二種類の現行設計法において設計された橋梁における免震設計の適合性の検証を目的とし、支間長と径間数の変化によるそれぞれの橋梁の比較検討を行った。

2. 構造の概要及び設計

1) 構造形式の選定

モデル橋梁の選定にあたり、既存の多径間連続橋の実績調査を基に、図-1に示すような、上部工：鋼箱桁・下部工：T型RC橋脚の3径間連続橋を選定した。下部構造及び地盤条件は、軟弱な地盤上に免震橋梁を建設した場合の耐震性が明確でないこととコンクリート標準示方書において設計された橋梁の免震設計の事例が無いことを配慮し直接基礎及びI種地盤とした。

2) 構造のモデル化

対象橋梁の設計振動単位は、連続桁部とこれを支持する各橋脚で構成されるため、これらを図-2に示すような離散型の骨組構造にモデル化した。

上部構造は、梁要素として評価し、断面積及び断面2次モーメントには、主桁とともに床版を考慮した。下部構造の節点は、張り出し部・脚部・フーチングの重心及びそれらの結合部に設け、脚部は梁要素で、張り出し部とフーチングは、剛体要素でモデル化している。基礎の支持条件は、回転バネ及び水平バネでモデル化した。また、免震橋梁における免震装置は、等価剛性 K_v に相当する水平バネで表し、上部構造と橋脚を連結するような形にモデル化した。

3) 橋脚の設計

許容応力度設計法における橋脚の設計においては、道路橋示方書 V 耐震設計編に基づき、震度法による設計を行った後、地震時保有水平耐力法によって照査を行った。限界状態設計法においては、コンクリート標準示方書に基づき終局限界状態を考慮し設計を行ったが、橋脚断面については、図-1に示される橋

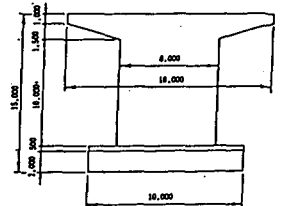
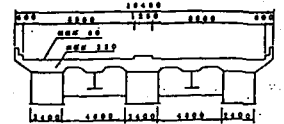


図-1 上部及び下部構造の断面

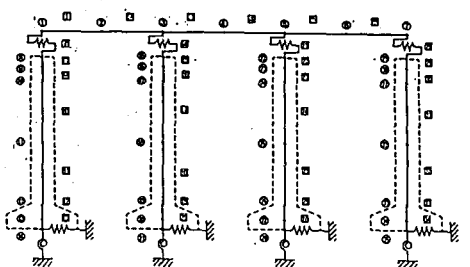


図-2 骨組構造モデル

脚の断面を約10%削減した断面寸法を用いて設計を行った。

表-1 免震装置の諸元

項目	位置	端部橋脚	中間橋脚
死荷重反力 (t)		89.52	246.18
活荷重反力 (t)		38.48	68.00
ゴムの弾性係数 (kg/cm ²)		8.0	8.0
平面形状 (mm)		600×600	750×750
ゴムの総厚 (mm)		18層×12=216	14層×16=224
鉛プラグ直径 (mm)		130	180
支 承 全 高 (mm)		435	454

表-2 免震装置の動的特性

項目	形式及び位置		3径間・支間長30m		3径間・支間長50m	
	端部橋脚	中間橋脚	端部橋脚	中間橋脚	端部橋脚	中間橋脚
第1剛性K ₁ (kg/cm)	12,181	16,171	12,181	16,171		
降伏荷重Q (t)	10,353	15,683	10,353	15,683		
変位U ₀ (cm)	7.65	7.65	12.08	12.08		
等価剛性K ₀ (kg/cm)	3,228	4,539	2,731	3,786		
等価減衰率h ₀ (%)	23.2	24.5	14.86	16.34		

3. 免震設計

1) 免震装置の設計

免震装置としては、鉛プラグ入り積層ゴム支承(LRB)を使用した。免震装置の種類は端部橋脚及び中間橋脚の2種類とし、各橋脚に3個ずつ設置した。表-1に免震支承

の諸元、表-2に構造形式別の免震支承の動的特性を示す。

2) 設計水平震度の算定

道路橋示方書に基づく免震設計に用いる設計水平震度k_hは、次式により求める。

$$k_h = C_Z \cdot Z_G \cdot C_1 \cdot C_T \cdot C_E \cdot k_{h0} \geq 0.1 \quad (1)$$

ただし、

$$C_T \cdot C_E \geq 0.8$$

ここで、C_Z:地域別補正係数、Z_G:地盤条件別補正係数、C₁:重要度別補正係数、C_T:固有周期別補正係数、k_{h0}:標準設計水平震度(=0.2)で、これらは道路橋示方書に規定される通りである。C_Eは、免震装置のエネルギー吸収特性に基づく補正係数で、橋の1次のモード減衰定数hに応じて決定される。

また、コンクリート標準示方書に基づいて設計された橋梁の免震設計に用いた設計水平震度k_hは、次式を仮定し求めた。

$$k_h = \nu_1 \cdot \nu_2 \cdot \nu_3 \cdot \nu_4 \cdot \nu_5 \cdot \nu_6 \cdot k_0 \geq 0.1 \quad (2)$$

ただし、

$$\nu_3 \cdot \nu_6 \geq 1.0 \text{ 及び } \nu_3 \cdot \nu_4 \geq 0.5$$

ここで、ν₁:地域別補正係数、ν₂:地盤別補正係数、ν₃:固有周期による補正係数、ν₄:構造物の限界状態による補正係数、ν₅:計算上考慮しない部材の耐震効果による補正係数、k₀:標準水平震度(=0.2)で、これらは、コンクリート標準示方書に規定される係数である。ν₆は、先のC_Eに値する補正係数である。また、表-3に構造形式及び設計法別の固有周期を示す。

表-3 固有周期

項目	形式及び設計法	3径間・支間長30m(sec)		3径間・支間長50m(sec)	
		許容応力度	限界状態	許容応力度	限界状態
免震橋	橋軸方向	1.301	1.167	1.527	1.430
	橋軸直角方向	1.325	1.191	1.561	1.467
非免震橋	橋軸方向	0.738	0.673	0.892	0.856
	橋軸直角方向				

表-4 動的解析結果

4. 動的解析

動的解析の手法は、モード解析による応答スペクトル法を用いた。解析は全体骨組モデルにより行い、検討ケースは免震支承と非免震支承を使用した場合の2ケースについて行った。非免震支承は、免震支承と同じ線形バネを有し減衰定数を5%以下に低減したものをを用いた。許容応力度設計法によって設計された3径間・支間長30mの橋梁の動的解析の応答値と静的解析を比較したのが表-4である。免震支承を使用した場合、静的解析に対し動的解析の応答値は約60%となった。また、非免震支承を使用した場合、静的解析に対し、主桁の相対変位はほぼ同じであったが、橋脚下端の断面力は約80%となった。これは、免震の減衰効果により橋脚に作用する地震力をかなり低減できることを示し、耐震安全性を向上させることを確認した。他の結果及び考察については、講演当日に述べる。

方向	項目	動的解析 (免震)		動的解析 (非免震)		静的解析 (k ₀ =0.2)	
		端部橋脚	中間橋脚	端部橋脚	中間橋脚	端部橋脚	中間橋脚
橋	主桁の相対変位(mm)	63.4	63.5	96.2	99.7	97.3	96.2
	主桁の応答加速度(m/s ²)	1.578	1.579	2.318	2.320	—	—
方	橋脚 下 端S(tf)	187.3	187.3	256.0	258.0	356.2	356.2
	橋脚 下 端M(tf・m)	2119.5	2132.4	3108.1	3121.4	3494.3	3543.5
直	主桁の相対変位(mm)	52.3	67.5	65.3	97.1	78.9	99.8
	主桁の応答加速度(m/s ²)	1.517	1.669	1.805	2.381	—	—
方	橋脚 下 端S(tf)	186.8	186.8	252.6	252.6	359.2	359.2
	橋脚 下 端M(tf・m)	2046.3	2457.6	2540.3	3426.1	3463.2	4005.1

参考文献

- 1) (財) 国土開発技術研究センター：道路橋の免震設計法ガイドライン (案) , 1989年3月
- 2) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編, 1990年2月
- 3) (社) 土木学会：コンクリート標準示方書設計編, 1991年9月