

## 標準的な道路橋の耐震設計例による日米の比較

北海学園大学 フェロー 当麻庄司 (株)構造技研 正会員 ○村上健志  
 (株)ドーコン 正会員 杉野仁志 California Dept. of Transportation Mark S.Mahan

## 1. はじめに

米国カリフォルニア州では、1995年に起きた日本の兵庫県南部地震よりも前に大きな地震被害を受け、耐震設計に積極的に取り組んできた。耐震設計は国の環境が違ってもその目的はまったく同じであり、共通の問題である。これまでお互い独自に開発してきた設計基準の相違点あるいは類似点を比較検討することは、お互いの気づけなかつた問題点を明確にすることができる。そこで、著者らはこれまで日米両国の設計基準で設計された典型的な道路橋の設計例をとりあげ、その設計手法を具体的に比較検討<sup>1)</sup>してきたので、報告する。

## 2. 構造システム

## 2. 1 全体構造

検討の対象とした橋は日米共に PC 連続箱桁橋である。日本と Caltrans の橋における最大の相違点は、最も耐震設計の根本である全体構造のシステムにある。日本の橋は、ゴム支承によって上下部を分離して地震力の分散を図っている。それに対し、Caltrans では上下部一体型のラーメン構造として不静定度を上げ、また個々の構成要素の変形能を高めることによって構造全体の靱性を上げている。

## 2. 2 キャパシティデザイン

キャパシティデザインでは破壊のメカニズムを予め想定して設計する。そこで構造物中で破壊する犠牲的な部材を決め、その部材に十分な靱性をもたせることによって耐震性を確保する。そして、その犠牲部材に隣接する部材には、決して犠牲部材よりは大きな強度をもたせないようにする。もし隣接部材が犠牲部材よりも大きな強度をもつと、想定した破壊メカニズムのシナリオが狂ってしまうからである。橋梁の場合、犠牲部材として通常補修の容易さから下部工である橋脚が選定される。Caltrans では、このキャパシティデザインの概念を採用しており、矩形橋脚の下部工はできるだけ採用しないようにしている。矩形橋脚は橋軸直角方向に強度が大きくなり過ぎ、地震時に基礎杭に損傷を起し補修が困難になる。

## 3. 固有周期と変形性能

本設計で取り上げた桜袋高架橋と Salinas River Bridge の固有周期の比較を表-1 に示すが、両者の設計の大きな違いがここに端的に現れている。すなわち、桜袋高架橋の方が Salinas River Bridge よりはるかに剛性が大きい。日本のこのような橋梁構造物の場合、固有周期は1秒前後のことが多い。これに対し、Caltrans では1.5秒程度を目標としているようである。Salinas River Bridge は鋼管柱を用いているため比較的剛性が小さくなっている。

図-1 に両者の橋軸直角方向の荷重変形曲線を示す。この図から、両者の構造上の違いにより橋軸直角方向の変形挙動には顕著な差があることがわかる。したがって、地震時の挙動にも大きな違いが生じる。橋軸方向については表-1 の固有周期の比較からもわかるよ

表-1 固有周期の比較

	桜袋高架橋			Salinas River Bridge
	震度法	保耐法		保耐法レベル
		タイプ I	タイプ II	
橋軸方向	0.993	1.097	1.274	1.89
橋軸直角方向	0.884	1.019	1.225	2.24

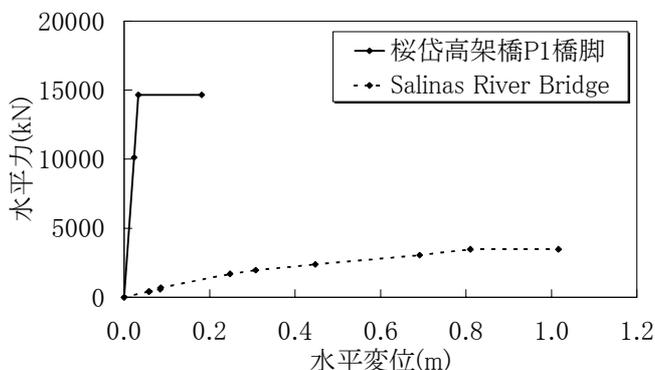


図-1 荷重変位曲線(橋軸直角方向)

キーワード 耐震設計, 橋梁設計, 構造設計, 耐震工学, コンクリート橋

連絡先 〒064-0926 札幌市中央区南 26 条西 11 丁目 1 番 1 号 北海学園大学工学部 TEL.011-841-1161

うに、橋軸直角方向ほどその差は大きくないものの、やはりかなり Caltrans の方が柔らかい構造となっている。

4. 安全照査

日米共に、大地震に対しては保有耐力法により安全性の照査を行うのが基本である。しかし道示の場合は、構造物の抵抗力（保有耐力）が地震による作用力（要求耐力）よりも大きくなるように設計する力低減法を採用しているのに対し、Caltrans では構造物の変形性能（保有変位）が地震による変形（要求変位）より大きくなるように設計する変位靱性法の立場をとる。

図-2 に両橋の設計に用いられた加速度応答スペクトル曲線を示す。Salinas River Bridge の設計スペクトル曲線は桜岱高架橋に比べ、かなり小さい。日本の場合固有周期が約1秒前後であることが多く、道示の設計加速度スペクトル曲線のほぼピークに近いところにある。しかし、Salinas River Bridge の橋軸直角方向の2.24秒では、図-2を見ると分かるようにかなり小さいところにある。

表-2 にこの安全照査の結果を示す。この表を見ると桜岱高架橋の場合、橋軸方向は要求性能と保有性能との間にバランスはとれているが、橋軸直角方向は矩形橋脚を採用していることから当然強度に大きな余裕がある。この余裕は、フーティングや杭の設計を圧迫するので、キャパシティデザインの概念に適合し難い。

5. 標準加速度応答スペクトルの比較

図-3 に標準加速度応答スペクトル曲線を示す。日米間の大きな違いは、道示ではプレート境界型地震（タイプ I）と直下型地震（タイプ II）に分けて標準スペクトル曲線を示しているが、Caltrans ではそのような分類をしていない。

Caltrans の標準スペクトル曲線は、マグニチュード  $6.5 \pm 0.25$ ,  $7.25 \pm 0.25$ ,  $8.0 \pm 0.25$  の3種類と5種類の土質に対して準備されている。図-3 はその標準加速度応答スペクトルの1部を道示と比較して示したものである。図中に示す加速度のピーク値は地震動の強さを表している。設計用加速度応答スペクトル曲線は、これらの標準加速度応答スペクトルを参考にして建設地点の地質条件、ハザードマップによる活断層の状況とそこからの距離等を考慮して地質技術者が作成し、構造技術者へ提示される。図-2 はこのようにして提供された Salinas River Bridge の設計用加速度応答スペクトル曲線である。Caltrans では道示と同様に加速度応答スペクトル曲線から地震力を得るが、変位一定則を適用しているためにその地震力を直接用いて弾性解析により変位を求め、要求変位とする。図-3 に示す標準スペクトル曲線を比較すると、短周期におけるピークは Caltrans の方が大きく、長周期側で道示の方が大きくなっている。土質の分類が必ずしも厳密に一致している訳ではないので一概には言えないが、図-3 を見る限りでは両者にはかなりな差がみられる。このように土質の評価とも関係して、地震力の評価はまだ耐震設計における大きな課題であると言える。

参考文献：1) 当麻庄司, 杉野仁志, Mark S. Mahan, 村上健志：標準的な道路橋の耐震設計例による日米の比較, 北海学園大学工学部研究報告(第29号), 平成14年2月。

表-2 安全照査

照査式	桜岱高架橋		Salinas River Bridge
	TYPE I	TYPE II	$\Delta_D < \Delta_C$
橋軸方向	4954kN <6915kN	5675kN <6916kN	44.2cm < 101.6cm
橋軸直角方向	6205kN <14615kN	7804kN <14658kN	47.2cm < 101.6cm

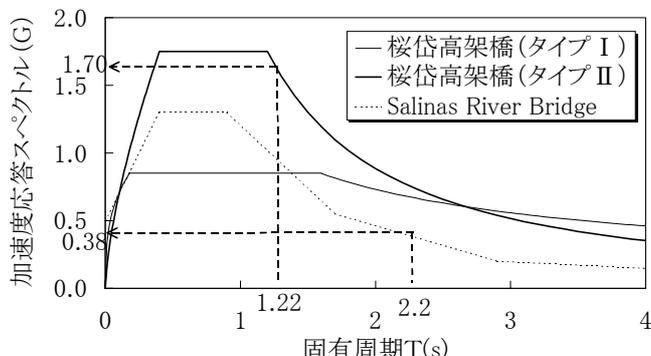


図-2 設計加速度応答スペクトル曲線

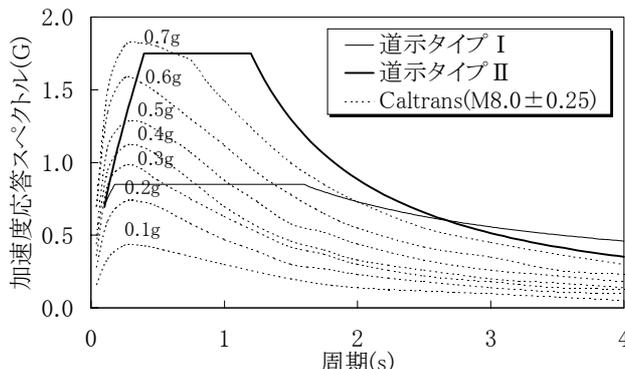


図-3 標準加速度応答スペクトルの比較  
II種地盤(道示)と土質D{硬い土}(Caltrans)