

I - B334

極軟鋼利用すべり式免震システムの動的挙動

川崎製鉄（株） ○正会員 長町 賢
 同 上 正会員 小池 武
 大阪大学工学部 正会員 西村宣男
 兵庫県庁 正会員 市村賢太郎

1.はじめに

兵庫県南部地震以降、既設橋梁の耐震補強が実施されており、その中で免震工法は構造の長周期化と高減衰化を行い地震力を低減できることから、耐震性を向上させる有効な工法の一つとなっている。今回大地震に対し有効に作用する極軟鋼利用すべり式免震システムを提案したので、その性能について紹介する。

2.免震システム

今回提案する極軟鋼利用すべり式免震システムは図-1に示すように、上部工に球形の上沓、下部工に皿形の下沓を設置し、上・下部工間に極軟鋼を用いた減衰装置を配した構造となっている。地震が発生すると免震沓を介して上部工が滑ることから免震効果が得られ、生じた上・下部工間の相対変位を極軟鋼鋼管がねじりとしてエネルギーを吸収し減衰するシステムとなっている。免震システムを簡易的に図-2の2質点モデルで示すと、免震沓の復元力は上部工の重量に対する水平成分で(1)式、変位は(2)式で与えられる。したがって、剛性 K_s は(3)式で表される。

(ただし上沓、下沓間の摩擦力は無視している。)

$$F = M g \cos \theta \sin \theta \cdots \cdots (1)$$

$$X = R \sin \theta \cdots \cdots (2)$$

$$\text{免震沓剛性: } K_s = \frac{\partial F}{\partial X} = \frac{\partial F}{\partial \theta} \frac{\partial \theta}{\partial X} = \frac{M g}{R} f(\theta) \cdots \cdots (3)$$

ここに $f(\theta)$: θ の関数である

極軟鋼管の復元力は、鋼管にかかるねじりせん断力で(4)式、せん断ひずみは(5)式で与えられる。

$$F \approx \tau \frac{\pi d^2 t}{2 r} \cdots \cdots (4)$$

$$\gamma = \frac{d}{2 l r} x \cdots \cdots (5)$$

これを $\tau = G \gamma$ に代入し(6)式が得られ、剛性 K_d は(7)式で表せる。

$$F = \frac{G d^3 \pi t}{4 l r^2} x \cdots \cdots (6)$$

$$\text{極軟鋼管剛性: } K_d = \frac{G d^3 \pi t}{4 l r^2} \cdots \cdots (7)$$

ここに d : 鋼管径、 t : 板厚、 r : γ - l 長、 l : 管長である

以上から免震システムの復元力履歴は図-3のように表せる。

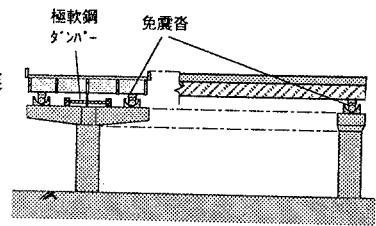


図-1 極軟鋼利用すべり式免震システム配置図

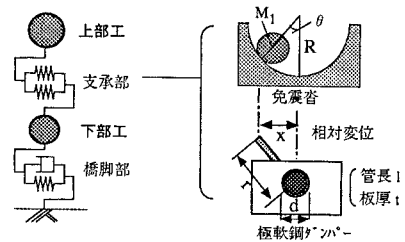


図-2 2質点モデル

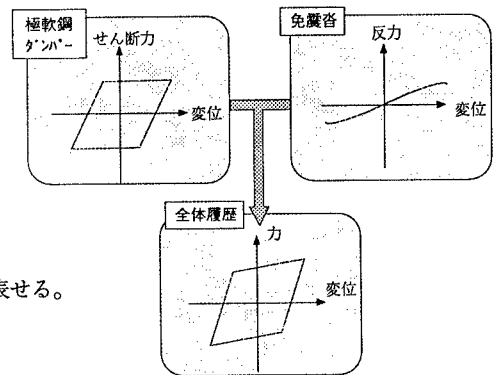


図-3 免震システムの復元力特性

Key Ward: 免震、極軟鋼、地震応答解析

〒263 千葉市稲毛区長沼町 351 番地 TEL(043)258-7091 FAX(043)259-3014

〒565 吹田市山田丘 2-1 TEL(06)879-7600 FAX(06)879-7601

3. 地震応答特性

地震応答解析に用いる2質点モデルは、都市内高速道路の橋脚を例に表-1に示す諸量とした。用いる入力地震波はレベル1、レベル2の地震に対応した代表的地震波として表-2の地震波を用いた。

表-1 解析モデル諸量

上部工	重量	1200tf
下部工	重量	75tf
	剛性	35.26tf/cm
	減衰定数	0.02
免震沓	半径	100cm
極軟鋼	管径	55cm
	板厚	3.5cm
	アール長	200cm
	管長	150cm

表-2 入力地震波

地震波	特徴
兵庫県南部地震(神戸NS)	レベル2相当(直下型)
十勝沖八戸地震	レベル2相当(海洋プレート型)
レベル1	道示耐震設計編の標準波
レベル2	道路橋の免震設計マニュアル(案):地震時保有水平耐力法に用いる標準加速度波形(1種地盤用)

これらの地震波の地震応答スペクトル(図-4)を見ると、0.05~1.6sの周期で神戸NSが、1.6s以上でレベル2が最も大きな応答値を示しており、十勝沖八戸地震、レベル1は前出の2つの地震波と比べると比較的小さな応答となっている。これらの地震に対し、免震沓を設置した場合と沓を剛結した場合について地震応答解析を行った。上、下部工の最大応答変位と周波数応答関数の解析結果を図-5、図-6に示す。解析結果から、下部工については、どの地震波に対しても免震沓を設置した方が応答変位がかなり小さくなっていることから、免震の効果を確認できる。周波数応答関数に

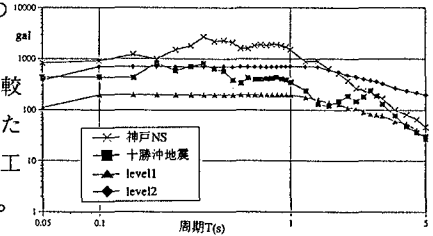


図-4 入力地震波の応答スペクトル

おいても、免震沓の固有振動数は剛結沓に対し長周期側にシフトしていることから、共振しにくい構造であり、免震に適した特性を有していることが分かる。上部工については、レベル2のみ免震沓を設置した方が剛結沓より変位が大きくなっている。これは上部工の周波数応答関数で長周期において剛結沓より免震沓の方が大きく、レベル2の地震波は長周期成分の多い地震波であることから、このような結果になったと考えられる。免震沓の設置数を増やすと上部工の応答変位は減少し、下部工の応答変位はやや増加する。レベル2の地震波で、剛結沓より応答変位を少なくするには、この沓を8箇所以上設置する必要があるが、設置個数の決定にあたっては下部工の応答変位も含めた検討が必要がある。

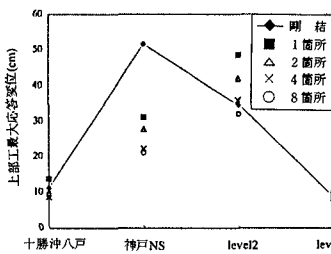
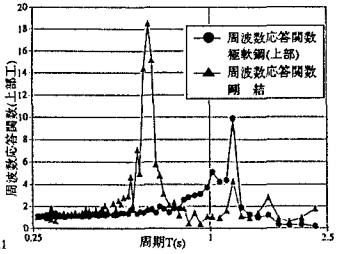


図-5(a) 上部工の最大応答変位



(b) 上部工の周波数応答関数

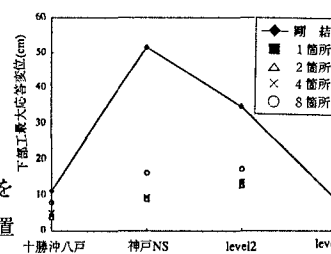
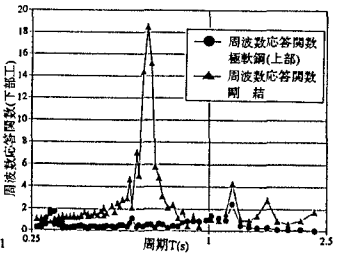


図-6(a) 下部工の最大応答変位



(b) 下部工の周波数応答関数

4. まとめ

- (1) 極軟鋼利用すべり式免震沓の復元力特性を明らかにした。
- (2) 地震応答解析の結果、この免震システムは大地震波(レベル2直下型、海洋プレート型)に対し免震効果があることが確認できた。