

I-199 3径間連続曲線トラス鉄道橋の中間橋脚支承に用いた地震時セン断キーの設計について

日本鉄道建設公団 設計室 正員 稲葉紀昭
○日本鉄道建設公団 設計室 正員 保坂鐵矢

1 はじめに

京葉線夢の島橋梁は東京湾岸埋立地内の軟弱地盤地帯中にあり、全長約 270m の複線軌道から成る 3径間連続曲線トラス構造である（図-1）。本橋の中間橋脚（P2）は首都高速道路と国道との間に位置するため、特に断面を小さくする必要があり、同橋脚上の支承構造にセン断キーを設けて、大地震に全方向フリーという構造とするなど、特別な工夫を加えて、橋脚に作用する地震力を通常より低減させた。

以下、本論文では支承に採用したセン断キーの設計の考え方、模型試験結果等について報告する。

2 支承構造の概要

P2 橋脚の支承構造は図-2 に示すように橋軸直角方向に動く銅合金支承板シューの上に、橋軸方向に動くローラーシューを重ね 2 段とし、銅合金支承板シューには曲線外側にある主構の支承にまとめて 2 個のセン断キー（以下 キーという）を設け、地震力が作用した時、キーは下部工の耐力（水平震度 0.15 の中規模程度の地震力相当で設計）を越えない範囲で切れ、橋軸直角方向にも可動となる構造とした。また曲線桁の特性より生じる水平力を橋軸方向と橋軸直角方向に、それぞれ正確に導く必要性より側面摺動装置を設けた。摺動面相互の隙間は 1mm 以下とし、その材質は〔HRsC4 + SL〕と〔SuS〕を用い、可動方向の制御、滑り機能の耐久性及び、キーの各個撃破防止等を配慮した。

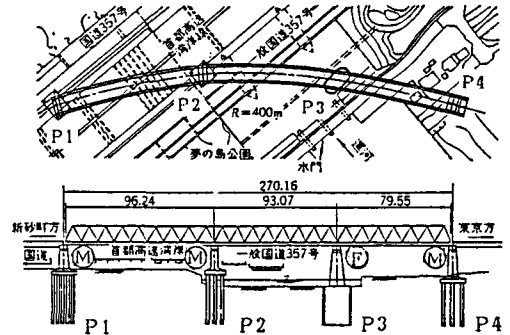


図-1 夢の島橋梁の一般図

3 セン断キーの設計

P2 支承に取り付けるキーは次の諸条件を満たす必要がある。

（1）地震時の設定荷重（下部工の耐力以下）で正確に破断する材質・形状であること。

（2）耐久性があり大地震時に破断した場合、簡単に取り替えが出来る構造とすること。

（3）常時、橋軸直角方向に作用する列車・衝撃・遠心・車両横荷重および、これらに風荷重を組み合わせた荷重に対しては破断させないこと。

これらの条件のうち、（2）については図-3 の詳細図に示すように円筒状をした鋼材の中間円周部に V ノッチのスリットを入れ、セン断破壊させる構造とし、材質は錆にくい銅合金鋼（C6782B0）、またステンレス鋼（SuS304）とする。（1）（3）についてはキーの材質、機械的性質の試験、キーそのものの破壊試験の他に、鉛直荷重や摩擦速度を変えた銅合金支承板シューの摩擦試験、および銅合金支承板シューとキーを組合せた実体模型破壊試験を実施して、決定することとした。

実体模型破壊試験時の鉛直荷重は設計面圧に相当する、40 t 及び 3 t とし、試験速度は試験機能力より、最大 60mm/sec 及び 1mm/sec の 2 種類とした。

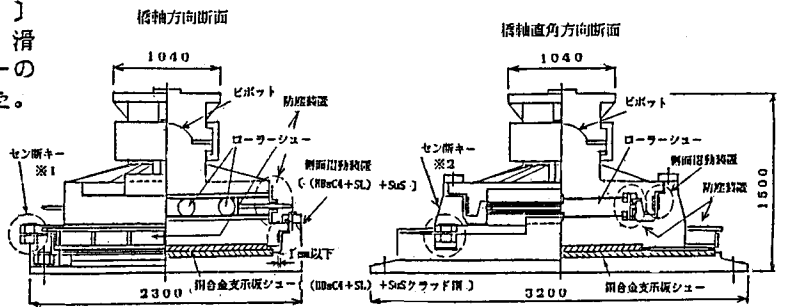


図-2 P2 支承構造

※1 橋軸方向断面 ※2 橋軸直角方向断面

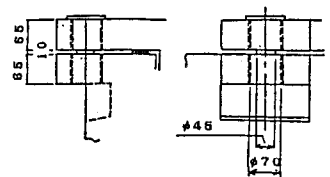


図-3 セン断キーの詳細

種々の試験結果の内、実体模型破壊試験の結果を表-1、そのF- δ 曲線の一例を図-4に示す。

表-1 実体模型破壊試験の結果

試験条件	材 質	最小径 ϕ (mm)	最大水平荷重 A (kgf)	摩 擦		せん断キー			
				摩擦係 B (kgf)	係 数 μ	せん断荷重 A-B (kgf)	せん断強さ(1) τ (kgf/mm ²)	変形率(2) (%)	せん断強さ のバラツキ(3)
P=3000kgf	銅 合 金	21	10750	254	*	10484	30.0	32.1	-4~5%
V=0.1mm/sec	ステンレス	15	12650	407	*	12240	69.3	74.4	-3~3%
P=3000kgf	銅 合 金	21	10980	492	*	10452	30.2	23.6	-4~3%
V=60mm/sec	ステンレス	15	9900	680	*	9220	52.2	59.8	-2~2%
P=40000kgf	銅 合 金	21	13160	3048	0.076	10110	29.2	25.5	-5~7%
V=0.1mm/sec	ステンレス	15	15270	2593	0.075	12240	69.3	72.5	-1~1%
P=40000kgf	銅 合 金	21	14310	4332	0.108	9980	28.3	27.0	-6~3%
V=60mm/sec	ステンレス	15	12970	3967	0.099	9000	50.9	54.2	-2~2%

- 注) 1. 測定値は5試験片の平均値
2. *印部は鉛直力が小さいため μ が大きくなりすぎたため無記入
3. (1) $4(A-B)/(\pi\phi^2)$
(2) せん断変形率/最小径(ϕ)
(3) $\{\tau-1.5(\text{試験片それぞれのせん断強さ})\}/\tau$ の範囲

これらの試験より次の結果を得た。

(1) 表-1より、ステンレス鋼を使用したキーの破壊荷重は速度依存性が高く、速度変化の激しい地震時において、一定の水平力で破断する信頼性に乏しい。銅合金鋼においては速度依存性は低く安定し、破壊時キーのせん断強さは28.8~30.2 kg/mm²とバラツキが少なく、機械的性質試験の引張り強さ52.1 kg/mm²の1/3である30.1 kg/mm²にほぼ等しい。

以上よりキーの材料は銅合金鋼を用いることとした。

(2) 橋軸直角方向に作用する遠心・車両横・風荷重による組合せ荷重は設計鉛直反力の6%に相当し、摩擦係数の値(0.075~0.108)に比べて小さいので、この組合せによってはシユーの摩擦力は切れず、キーに力は作用しないことになる。

(3) キー破断時の支承に作用する荷重は摩擦係数(0.075~0.108)×(地震時P2橋脚に作用する鉛直反力)とキー自体のせん断耐力が加算した値に等しい。つまりキーの必要せん断耐力は下部工の耐力より摩擦力を差し引いた力以下でなければならない。しかし、摩擦係数は0.108より上回ることが考えられるので、下部工にたいして安全側の値となる0.12を採用しキーのせん断強度(キーの径)を決定した。

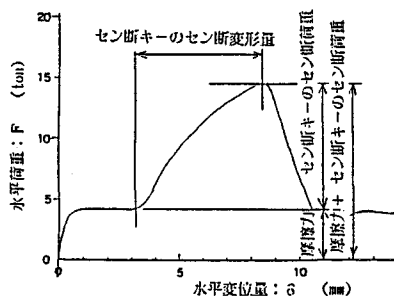
4 動的解析による耐震上の検討

P2 支承に設けたキーの有無による破断時の挙動の差異、各種構造部材耐力などについて動的解析検討した。解析モデルをトラス(棒に置換)・橋脚・杭からなる集中質点系平面骨組とし、地震波は国鉄標準地震波 MODEL301 (最大加速度 130gal 継続時間 18sec)を入力して橋梁全体を対象とした動的解析を行った。解析結果は ①キー無しと仮定してフリーとした状態におけるP2の面外変位(289mm)は静的解析の値(324mm)より小さい。②キー有りとしての橋軸直角方向を固定として求めた反力(応答せん断力 324t)は静的で求めたキー破断時の力(摩擦係数を0.1とした時の摩擦力 263t + キー耐力 78t = 341t)より小さく、解析に使用した程度の地震波ではキーは破断しない。③上部工主構の軸力は一部を除いて一般に静的解析値より小さい。④固有周期は比較的、長周期で地震波と共振する危険性は少ないと予想出来る。また、上部工の面外方向はキーが破断した場合、支承が可動となると、長周期に移行する傾向が読み取れる。

なお、キーが破断してP2支承がフリーとなっても、列車走行の安全性は確保できる。

5 あとがき

当橋梁の中間支承に大地震時にせん断破壊するキーを採用することにより、中間橋脚に作用する地震力を軽減でき、より経済性に優れた構造とすることができた。今後、地震発生時シユーの挙動を追跡調査し、その機能の確認を行いたい。

図-4 F- δ 曲線の一例