

兵庫県南部地震における鋼桁損傷シミュレーション

山平喜一郎¹・大塚久哲²

¹正会員 工修 九州大学大学院 社会人博士課程 (住友重機械工業株式会社 技術部)

(〒541-0041 大阪市中央区北浜4-5-33 (住友ビル))

²フェロー 工博 九州大学大学院教授 工学研究科建設システム工学専攻 (812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1)

兵庫県南部地震によって大きな被害を受けた都市高架橋の諸元を用いて、橋梁全体系の非線形地震応答解析を行なった。その結果、支承受付ボルトの引張強度を越える引張軸力が支承に作用することが解った。続いて、そこで得られた速度、加速度を用いて支承受付ボルト引張切断後の橋桁と支承の衝突を衝撃解析によりシミュレートした。そこで得られた結果は、実際の被害状況と類似している。

これらの結果より、兵庫県南部地震の際には、まず、支承受付ボルトが引張破断し（1次損傷）、自由に振動を始めた橋桁が支承や橋脚と衝突して2次損傷が生じたと考えられる。

Key words : *Steel Bridge, Bearing Support, Damage Mechanism, Impact Analysis, Earthquake Resistant Design*

1. はじめに

兵庫県南部地震によって大きな被害を受けた都市高架橋では、支承付近での損傷が多く見られた。これらを詳細に検討すると、まず支承の取付ボルトが引張力によって破断し（写真-1）、一旦鋼桁が支承から離れた後、再度衝突して、鋼桁と支承それぞれが損傷したと推定できる。（写真-2、写真-3）

筆者らは、鋼橋が損傷するに至った過程を明らかにするため、まず兵庫県南部地震で損傷した都市高架橋全体システム2ケースの非線形地震応答解析を実施した。その結果得られた変位、速度、加速度、断面力を検討することによって、主として橋軸直角方向の地震入力によって、支承受付ボルトに過大な引張軸力が作用し、これが原因で支承受付ボルトに引張切断が生じる可能性が大きいことを明らかにした^{1), 2), 3)}。本研究は、この地震応答解析により得られた変位、速度、加速度等を用いて衝撃解析を行い、鋼桁と支承に実際の被害と類似の損傷が生じることを確認した。

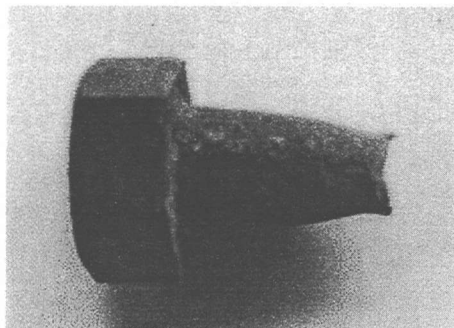


写真-1 破断した取付ボルト

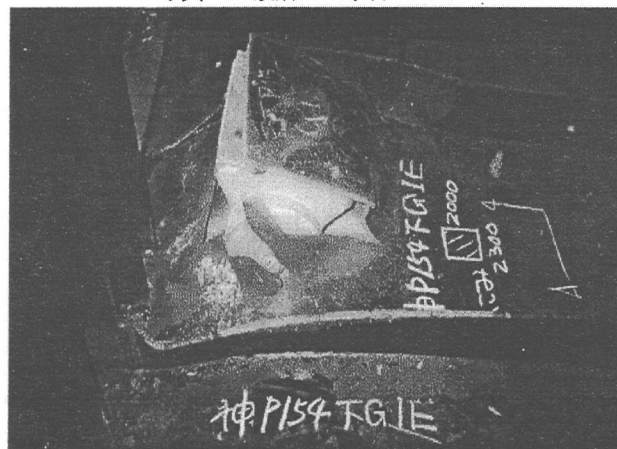


写真-2 支承の下フランジ貫通例

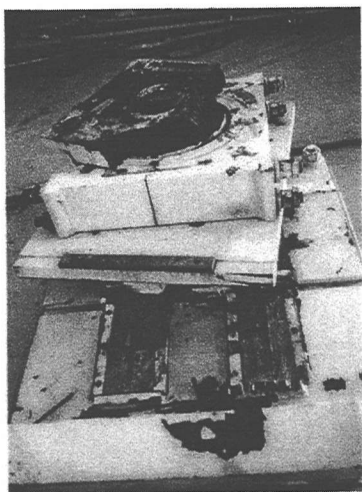


写真-3 支承割れ

2. 解析対象橋梁

図-1、図-2に解析対象とした都市高架橋（鋼橋）の全体一般図を示す。K橋は3径間連続鋼床版箱桁橋、逆L型の鋼製橋脚、T型のコンクリート橋脚、基礎構造（杭基礎、ケーソン基礎）および地盤で構成されている。H橋は二層構造の3径間連続鋼床版箱桁、ラケット型鋼製橋脚、ケーソン基礎および地盤で構成され、3径間のうち2径間は海上部に架かっている。

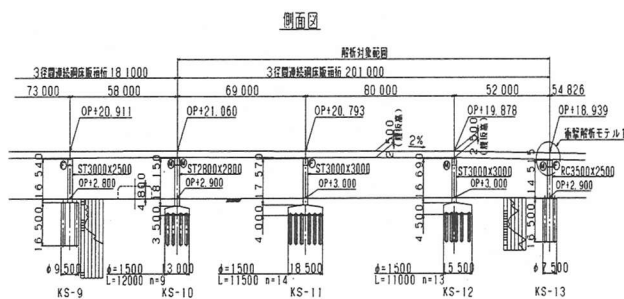


図-1 K橋一般図

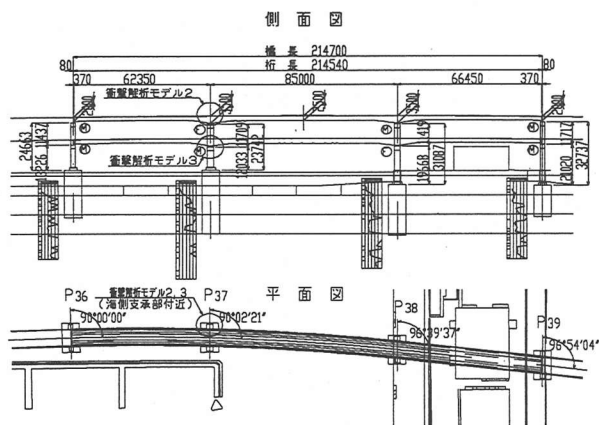


図-2 H橋一般図

3. 橋梁全体系解析モデルと解析結果

図-3、図-4にK橋、H橋の全体系解析モデルを示す。

K橋は基礎や地盤をばね要素でモデル化し、H橋では橋脚基部を固定とした。鋼製橋脚にはバイリニア型、コンクリート橋脚にはトリリニア型の非線形復元力特性を付与し、減衰はレーリー減衰を用いて時刻歴地震応答解析を行った。

結果の一例として、図5にH橋の支承軸力の最大応答値（絶対値）を示す。

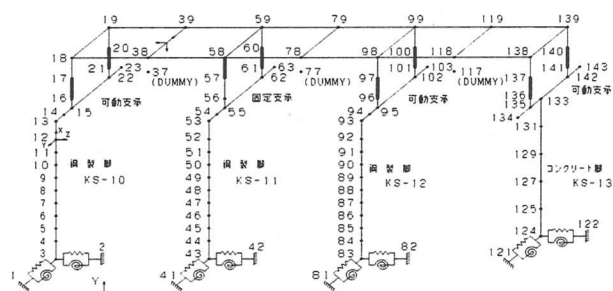


図-3 K橋全体系解析モデル

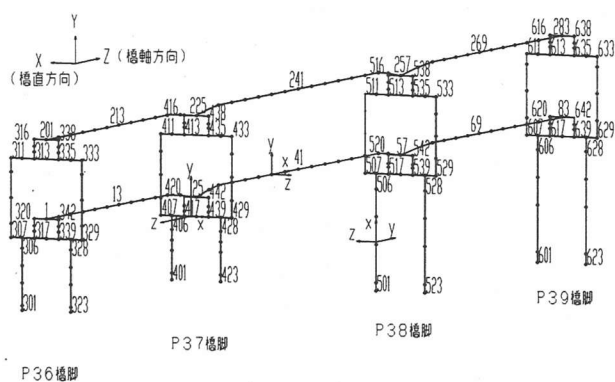


図-4 H橋全体系解析モデル

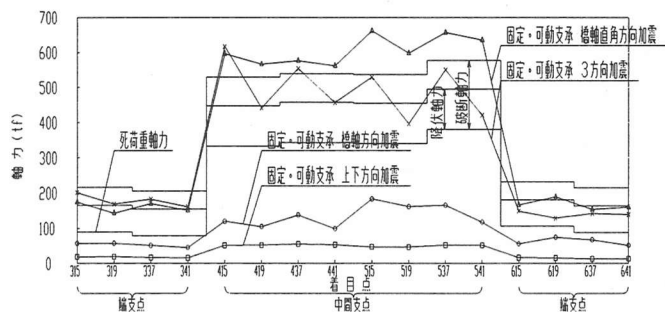


図-5 H橋解析結果

4. 衝撃解析モデル

図-1、図-2の全体一般図に示す都市高架橋（鋼橋）

の一部分を取り出して、モデル1（図-6）、モデル2（図-7）、モデル3（図-8）の3モデルについて衝撃解析を実施した。

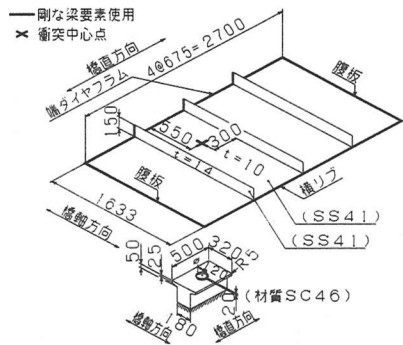


図-6 衝撃解析モデル1

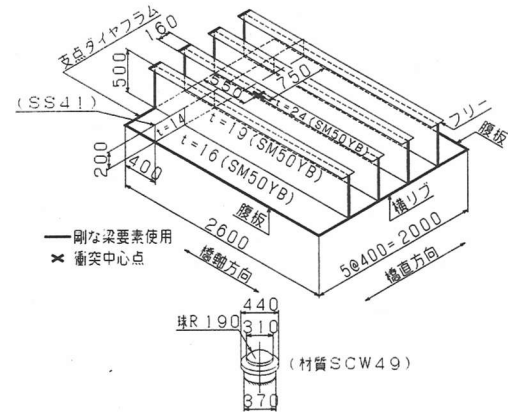


図-7 衝撃解析モデル2

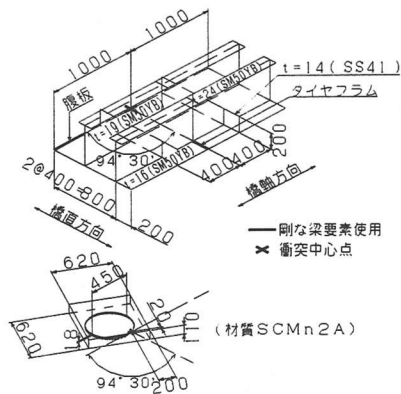


図-8 衝撃解析モデル3

5. 解析条件

衝撃解析に用いる速度と加速度は図-3、図-4に示す全体系骨組みモデルの非線形地震応答解析結果により得られた値を用いた。

取付ボルトは破断しているため、衝突前の鋼桁と支承の相対距離は、全体系での変形量またはローラー等散逸部の高さとした。これらを表-1に示す。衝突する桁の質量は支承の死荷重反力を重力加速度で除した値とした。

鋼桁及び支承の物性値は鋼材に対する J I S 規格の値を基に、バイリニア型でモデル化した（図-9）。また降伏応力 σ_y 及び破壊応力 σ_u のひずみ速度依存性は以下の式⁴⁾によった。ここに ϵ' はひずみ速度、 σ_0 は静的応力である。

$$\sigma_y = (1.202 + 0.040 \times \log \epsilon') \cdot \sigma_{y0} \quad (1)$$

$$\sigma_u = (1.172 + 0.037 \times \log \epsilon') \cdot \sigma_{u0} \quad (2)$$

表-1 解析条件

	橋桁と支承との 初期距離h (mm)	初期速度 v0 (mm/sec)	衝突時速度 v (mm/sec)	衝突時加速度 a (mm/sec ²)	桁の質量 (kg)
モデル1	200	1300	3407	24800	8667
モデル2	110	25	1446	10610	27530
モデル3	130	10	1852	12970	35380

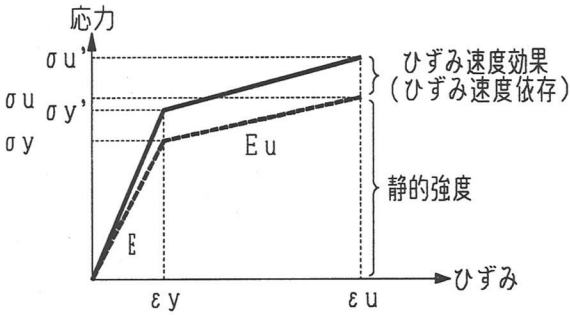


図-9 鋼材物性値モデル

6. 解析結果と考察

衝撃解析モデル1、2、3を用いた衝撃解析の結果を図-10、図-11、図-12に示す。

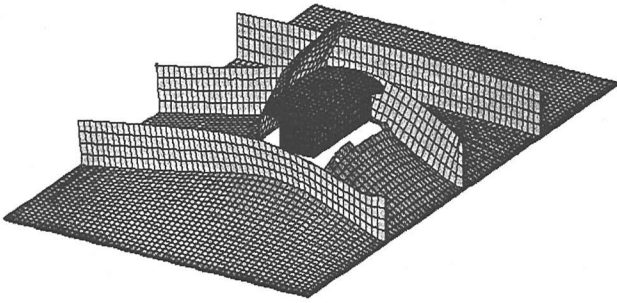


図-10 モデル1の解析結果

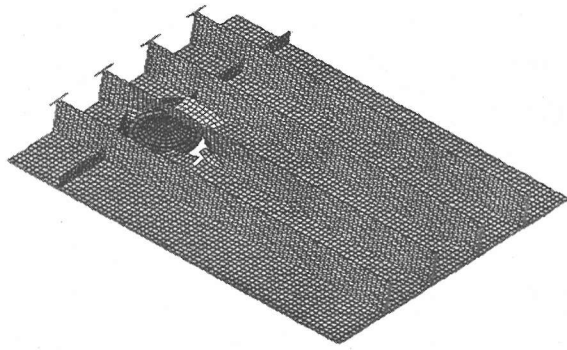


図-1 1 モデル2の解析結果

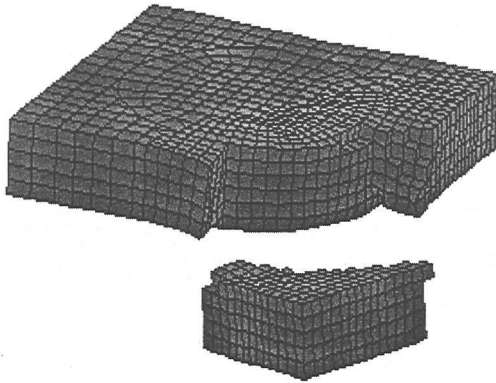


図-1 2 モデル3の解析結果

モデル1，モデル2においては、支承が下フランジを貫通しており、実際の被害と同じような結果となった。一方、モデル3においては、隣のP36支承（端支点）が健全であるとして、P37支承（中間支点）だけの死荷重を用いて解析した場合は支承は部分的な損傷にとどまった。実際の被災状況はP36支承は散逸してしまっており、橋桁が直接橋脚に載っている状態であった。本橋は連続鋼床版箱桁で、主桁が大きな曲げ剛性を有しており、P36の支承が無くなった場合、その反力の大部分は隣のP37支承で負担していると考えられる。このように考えて、P36とP37の合計死荷重に相当する質量を用いて解析した場合には割れが見られた。

これらの解析結果より、兵庫県南部地震クラスの巨大地震において、支承の取付ボルトが破断すれば、支承と下フランジの衝突により、板厚の薄い下フランジの損傷は免れない。腹板、ダイヤフラム、及びそれらの交差部直下に支承が衝突した場合は、支承本体が損傷する場合がある。今回のモデル3の衝撃解析では、支承全体が散逸してしまった隣のP36支承の死荷重も考慮して始めて割れがみられた。このことは、一

箇所の支承の損傷・散逸が構造系の変更を招き、他の支承に想定していなかった過大な荷重を作用せしめることを示唆している。

7. まとめ

上記より、得られた知見から鋼橋の損傷メカニズムをまとめると以下ようになる。

兵庫県南部地震で支承周辺が損傷したK橋やH橋においては、

1. 主として橋軸直角方向の地震入力により、支承には従来の設計反力を上まわる鉛直力が作用する。
2. 支承取付ボルトには引張強度を越える引張力が作用し、引張破断する。
3. 橋桁は支承から離れて自由に振動する。
4. 橋桁と支承の衝突により、支承の下フランジへの貫通、支承割れ等の二次的損傷が生じる。
5. このように支承が損傷した結果として、橋桁と橋脚の直接衝突が生じる。

本研究により、支承取付けボルト等の支承の局部的な損傷が鋼桁本体の損傷に至ることが解析的に明らかになった。したがって、鋼橋の耐震性向上には、橋梁全体系の地震応答解析に基づいて、支承各部に十分な耐力を保有させるように設計する必要がある。

なお、モデル3の支承割れに関しては、支承の材質が鋳鋼(SCMn2A)であることと地震の発生が寒冷期(1月17日)の早朝であったという温度条件から、脆性破壊の可能性が考えられる。この点は今後の課題として追求していく予定である。

参考文献

- 1) 山平喜一郎、他：橋梁全体系の非線形地震応答解析と免震支承の機能評価、土木学会第52回年次学術講演会概要集，pp244-255，1997.9
- 2) 山平喜一郎、他：3次元非線形地震応答解析による都市高架橋の支承の損傷要因分析、土木学会第53回年次学術講演会概要集，pp294-295，1998.10
- 3) 土木学会関西支部：大震災に学ぶー阪神・淡路大震災調査研究報告書一，pp113-121，1998.6
- 4) 高橋芳彦、他：衝撃荷重を受ける鉄筋コンクリートはりの弾塑性挙動に及ぼす材料のひずみ速度効果、構造工学論文集、Vol.37A，pp1567-1580，1991.3