

I-A 282 阪神・淡路大震災で見られた落橋防止装置の効果に関する一考察

東京都立大学工学部 正会員 長嶋 文雄

1. まえがき 道路橋においては新潟地震における昭和橋の被害を教訓として落橋防止装置を付けるよう定めているが、設置以後、高架橋の多い都市部において大地震が発生せず、それらの実際的な効果については確認することが出来なかった。しかし阪神・淡路大震災が発生し、不幸にも様々な形式の桁の落下が見られたが、数値解析などだけでは到底知ることの出来ない貴重な資料が数多く得られることとなった。

復旧仕様の準用に関する参考資料（案）¹⁾では、今回の被災を踏まえて速やかに既設橋の補強や新設橋の設計仕様を提案したが、今後も腰を据えた被災原因の解明と対策に対する検討が必要である。ここでは、阪神・淡路大震災での落橋防止装置の効果について概察し、3次元非線形衝撃応答解析²⁾を行って被災原因に関する考察を行うと共に、今後やや長期的な研究計画を立てて解明すべき課題について検討する。

2. 落橋防止装置の効果 写真-1~6は阪神・淡路大震災における耐震連結装置および落橋防止構造の被災状況を示したものであり、1~5は阪神高速神戸線の高架橋、6は国道171号門戸跨線橋のものである。今回のような巨大地震では、可動支承部の移動制限装置は初期の段階で破壊され、次に橋脚が健全であれば落橋防止装置に水平・垂直力または曲げモーメントが加わる（写真-1,2）。このときの作用力が耐力を上回れば連結板が破断したり（写真-3）、落橋防止装置のピンが破断して抜け落ちたり（写真-4）、溶接による定着部が破断したり（写真-5）、ウェブが引き千切られたりすることが分かった。さらに橋脚との相対変位が大きくなりこれが桁の掛け違い長さ（以後 S_e ）を超えるようになると桁が落下する（写真-6）。落橋防止装置の効果については少なからず認められたが、写真-5に見られるように連結板とピンは健全であるにも拘わらず定着部が破断する例が見られた。もっともこの主桁は危うく橋脚から外れるところであったが、耐震連結の付いているウェブがねじ曲げられていることから、連結装置が桁の横移動を多少なりとも減ずる効果があったと思われる。少なくとも、連結装置は主桁が橋軸直角方向に大きく移動するまでは破断していなかったと推察される。写真-6では、右側の鋼製ブラケットの損傷が大きいことから、橋桁が反時計廻りにずれた結果、 S_e が不足して落橋したものと思われる。斜橋や曲線橋は元来地盤の悪いところに位置することが多く、地震時には複雑な挙動をするため、平面的な移動制限対策を採るべきである。

3. 耐震連結装置の設計手法と問題点 橋脚の崩壊が直接落橋に結び付いた場合もあるが、桁間がそれほど広がらなくても落橋に至る被災形式も見られた。すなわち、図-1に示すような、(a)固有周期の異なる上部工が隣接する場合、固有周期が殆ど同じであっても桁の横変位が累積する場合、斜橋や曲線橋のように平面的に複雑な動きをする場合などで隣接桁の相対的な動きにより片方の桁が橋脚天端から押し出されて落橋に至るモード、(b)特に高橋脚における橋脚の傾斜による落橋モード、(c)地盤の液状化や側方流動による橋脚の移動に基づく落橋モードなどがあることが判った。これらの事実は、いずれにしても橋桁が橋脚天端から外れて落下する場合があることを考えて落橋防止装置を設計しなければならないことを示している。

桁の懸垂状態を考慮する設計手法を確立するには、4.に示すような多くの問題を解明する必要がある。

重力場における橋桁の落下問題について、図-2 (a) と表-1に示すような解析モデルを用いて3次元非線形衝撃応答解析を行ったところ、今回の震災で数多く見られた連結板の湾曲変形（図-2 (b)）および、連結ピンの破断と抜け出し発生メカニズムを明らかにすることが出来た。また、懸垂状態を考慮する場合の設計荷重は、許容応力度の地震時割り増しを行わないとして、 $\sqrt{2}R_d$ 程度必要であることが分かった。

4. 今後の課題 複数の落橋防止装置・構造の相互作用、免震橋における落橋防止装置のあり方、溶接継手の耐衝撃性、衝撃力緩和構造、 S_e を増した時の橋脚のデザイン、さらに橋桁が橋脚から逸脱する最悪の状態を考え、落橋時の桁連結装置に発生する衝撃力と設計手法などについても検討する必要がある。

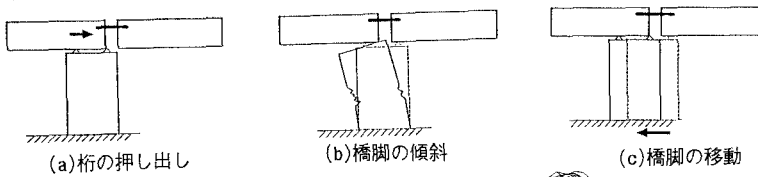
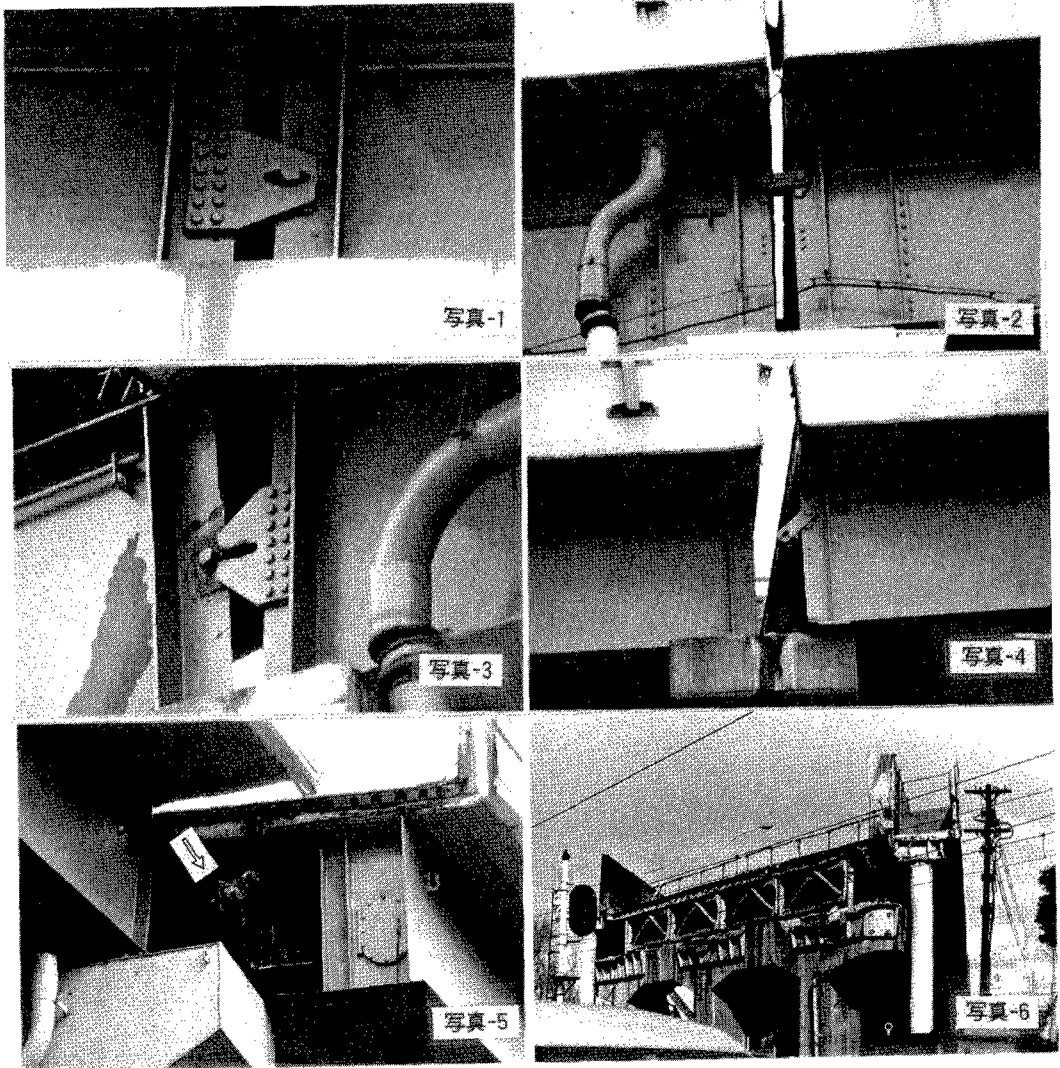


図-1 落橋モード
(橋脚の崩壊など
による桁間相対
変位が大きい場
合を除く)

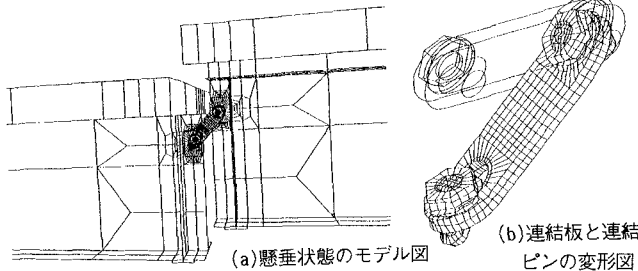


表-1 解析モデルの諸元

支間	30,000 mm
桁高	1,700 mm
桁総重量	39.09 tonf
全節点数	3,508
要素数	1,780 (solid) + 372 (shell)

図-2 合成桁の3次元非線形衝撃挙動解析結果

[参考文献] 1) 日本道路協会：「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料（案）、平成7年6月。2) 長嶋・成田：落橋防止装置連結部材の衝撃応答解析、構造工学論文集、Vol. 40A, 1994.