

3. 落橋の被害と落橋防止構造の見直しについて

3.1 落橋の被害

兵庫県南部地震においては都市内高架橋の落橋という橋梁にとっては最も大きな被害を受けた例が多数見られた。また、落橋に至らなかったものの想定されなかったモードで落橋防止構造が破壊した例もあった。これらの被害形態としては主として以下の4つに分類できる。

- ① 橋脚の破壊による落橋(写真-3.1)
- ② 橋脚の移動による落橋(写真-3.2, 3.3)
- ③ 橋桁の衝突による桁の押し出しによる落橋(写真-3.4)
- ④ 橋桁の落下による落下端とは反対側の連結装置の破壊(写真-3.5)

代表的な落橋パターンとして①～④がどのようにして生ずるかを示したのが図-3.1である。

①と③は地震動が、また②は地盤移動が直接的な落橋の原因である。このうち①の橋脚の破壊による落橋はいたしかたないとしても③と④については現行の設計では破壊モードとしては必ずしも想定していないものであった。今回、④により落橋に至ったケースはなかったと思われるが、落橋につながるものとして十分注意しなければならない破壊パターンである。

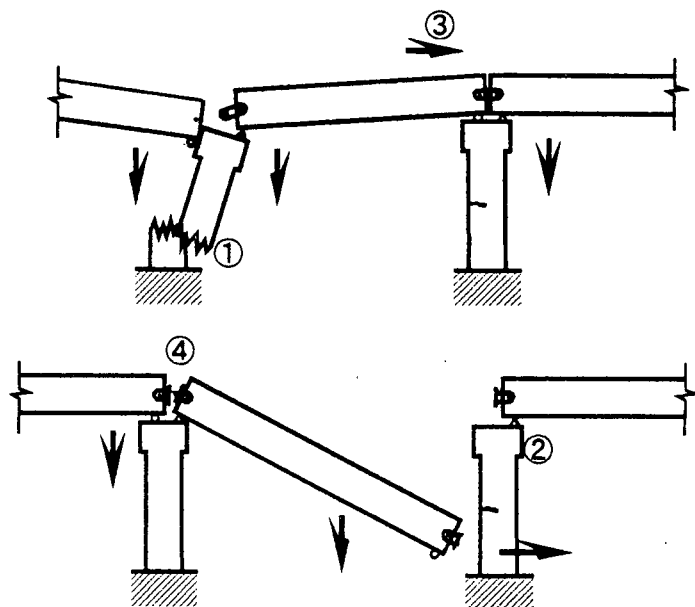
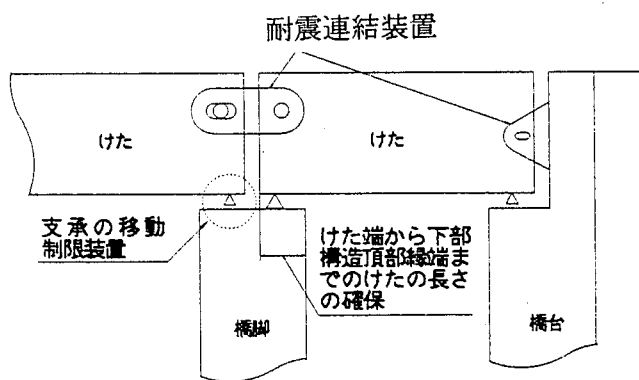
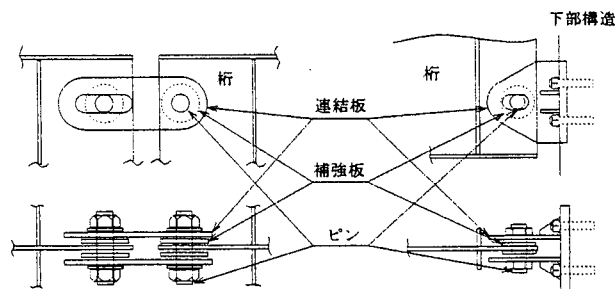


図-3.1 落橋のパターン



(a)



(b)

(c)

図-3.2 落橋防止構造と耐震連結装置

3.2 現行の落橋防止構造

現行の落橋防止の現状について簡単にのべておく。地震時における橋の上部構造の橋脚または橋台からの落下を防ぐための方策として、(a)橋脚上部のかかりを十分にとること、(b)沓に移動制限装置を設けること、(c)耐震連結装置で橋桁と橋桁あるいは橋桁と下部構造等をつなげること、桁または下部構造に突起を設けることをあげている(図-3.2)。現在の道路橋示方書では(a)に加えて(b),(c)のいずれかを用いることを義務づけている[1]。落橋防止構造と呼ぶ場合には沓の移動制限装置等を含めるのが一般的であるが、中でも重要な役割を果たすものは図-3.2に示すようなピン、連結板、および補強板からなる耐震連結装置である。しかしながら耐震連結装置の設計法については道路橋示方書に詳細の記述がないため、具体的な設計はそれぞれの設計者[2-6]に任されているのが実状である。大略においてこれまでの設計はピンと連結板の接触によって生ずる応力を弾性変形の範囲内で照査するものである。従来の落橋防止構造に関する研究[7-12]は必ずしも多くなく、しかも、大部分が桁連結板に関するものである。すなわち、弾性応力評価法の合理化に関するもの[7,8]、耐荷力やエネルギー吸収能に関する実験[9]やその解析[10]、連結板の衝撃荷重下の実験とその解析[11]である。このような一連の研究において、連結板の塑性変形によるエネルギー吸収能を考慮した設計の必要性は指摘されているが[9,10]、ピンや補強板の設計との関連においてはほとんど論じられていない。

3.3 耐震連結装置の被害

今回の地震における耐震連結装置の被害についていくつか具体的な例をあげる。

写真-3.6は神戸市ポートライナーの高架橋に見られた耐震連結装置である。ここでは、右側には図-3.2(b)に示すような連結板が取り付けられており左側には図-3.2(c)に対応するタイプのものが設置されている。左側連結板ではボルトが破断しているが、連結板が大きく変形したあとは見られない。このタイプでは連結板の一方の拘束が大きく、わずかな変位でも今回のようにボルトが破断し、桁が橋脚から逸脱する以前に落橋防止構造としての機能を失うことが考えられる。

写真-3.7, 3.8は図-3.2(c)のタイプそのものであるが、それぞれ連結板と補強板のあるウェブで破壊している。連結板の塗料がはげ落ちていることから塑性変形を生じるほどの大きな外力が連結板に作用したことがうかがわれるが、そのために補強部が破断してしまった例である。現行では全体を弾性変形の範囲内で設計しているため終局耐力についてはどこが弱点になり破壊するかは不明である。このタイプの連結板もまた、変形能が小さく、桁が橋脚から逸脱する以前に機能を失うことが考えられる。さらに、桁のわずかな移動に対して抵抗し、外力を伝えることにより橋脚に悪影響を及ぼす可能性もある。加えて、垂直移動に対する耐力には疑問がある。

最も多く見られたタイプは図-3.2(b)にあるような2本のピンの間を連結板でつなぐタイプである。(写真-3.9)このタイプはどのような桁の動きに対しても連結板に対しては引張り力が主に作用することが期待できることや、桁の上下の動きを拘束することによる予想外の力が橋脚に作用することを防ぐことができるという点で他のタイプに比べて優れていると考えられる。ただ上にも述べたように今回の地震で観察された落橋のメカニズムには予想外のものもあり、結果的にはこのタイプの耐震連結装置が最も多く破壊された。破壊状況について述べるとまずピンの破壊(写真-3.10, 11, 12)、ピンを取り付ける橋桁ウェブ補強部の破壊(写真-3.13, 14)、連結装置取り付け板の破壊(写真-3.15)等が数多く見られた。補強部の破壊の原因については既に述べたとおりであるが、ピンの破壊に関しては衝撃的な荷重に対し十分な強度を持たなかったことが主たる原因と考えられる。加えて、ピンや橋桁ウェブが、連結板に先行して破壊したことにより連結板が持つ本来の変形能を発揮しないまま連結装置が順次個別に破壊されていき、それぞれの連結装置が均等に桁荷重を受け持つという現行の設計法における仮定が満足されなかったことも破壊を促進した原因と考えられる。その一方で連結板については大きく塑性変形をしたものは見られたが破断に至ったものはまれであった。耐震連結装置が破壊をまぬがれたために落橋に至らなかったと思われる例もあり(写真-3.16)、連結装置が健全でありさえすれば落橋を防止する上で一定の効果はあったと思われる。

3.4 落橋防止構造の見直し

3.3の被害状況を勘案すると、新設の橋梁に対しては現行の落橋防止構造の項目(a), (b), (c)すべての項目の見直しに加えて、衝撃吸収のダンパーの設置や桁の連続化、さらに免震沓との組み合わせ等で、落橋防止対策を考慮すべきであろう。しかしながら既設の橋梁の落橋防止の対策としては、現行の方法の枠内でも今回数多く見られた耐震連結装置の破壊を防止することで大きな効果があげられると思われる。このためには、連結板の塑性化を考慮した終局強度による照査を行い、またピンや補強板での破壊をさける設計を行うことがあげられる。次に連結板の変形能を向上させ、連結装置が均等に荷重を負担するという設計での仮定を満足させることが必要である。さらに、設計において、強度に加えて衝撃荷重に対する連結板のエネルギー吸収能を考慮することである。いずれにせよ、連結装置の設計において変形能を向上させエネルギー吸収能をあげ、また衝撃を吸収するような機能をもたせることが必要であると考えられる。もちろん、連結構造に作用する衝撃的な外力の評価についても考慮する必要がある。

最後に、連結装置の存在により地震時に上部構造が複雑な挙動をし、これが橋脚に悪影響を与えとも考えられる。したがってこのような挙動を十分考慮し橋脚に過大な地震力が作用しないように配慮することが必要である。

参考文献

1. 道路橋示方書・同解説，Ⅴ耐震設計編，1994
2. 日本道路公団：鋼構造物設計基準
3. 首都高速道路公団：首都高速道路・構造物設計基準
4. 阪神高速道路公団：鋼構造物設計基準
5. 名古屋高速道路公社：鋼構造物設計基準
6. 福岡北九州高速道路公社：鋼構造物設計基準
7. 鈴木 五月，後藤 芳顯，松浦 聖：鋼道路橋の落橋防止装置連結板の応力解析と設計手法に関する一考察，構造工学論文集，Vol. 34A, pp341-350, 1988.
8. 大橋隆樹，湯島弘光：耐震連結装置の設計に関する研究，橋梁, pp. 57-64, 1989. 9
9. 鈴木 五月，後藤 芳顯，松浦 聖，石原 英一：鋼道路橋の落橋防止装置連結板の耐荷力実験，構造工学論文集，Vol. 35A, pp1011-1018, 1989.
10. 小畑 誠，鈴木 五月，後藤 芳顯，松浦 聖：橋防止装置連結板の静的耐荷特性の解析，土木学会論文報告集，No. 422, I-14, pp295-302, 1990.
11. 小畑 誠，後藤 芳顯，松浦 聖：高速引張時の落橋防止装置連結板の強度特性，土木学会論文報告集，No. 441, I-18, pp97-105, 1992
12. 長嶋文雄，成田信之：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, pp. 1343-1348, 1994. 3



写真-3.1.



写真-3.2.



写真-3.3.



写真-3.4.

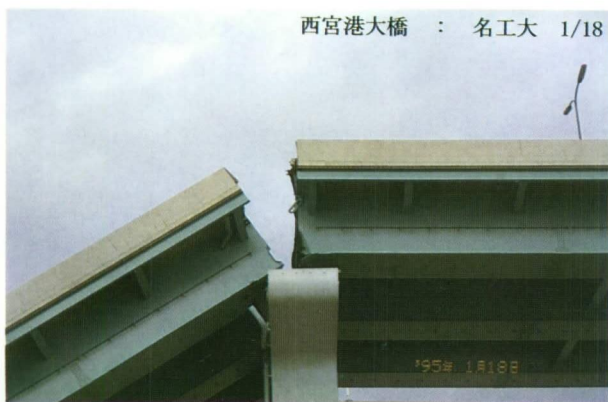


写真-3.5.

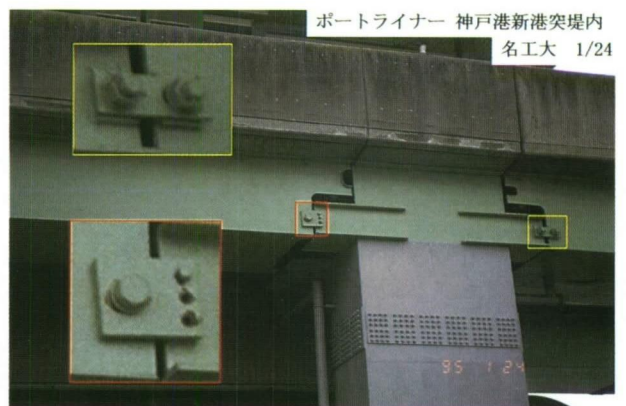


写真-3.6.

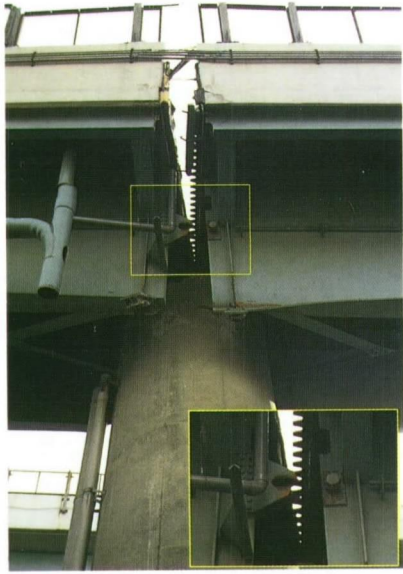


写真-3.7.

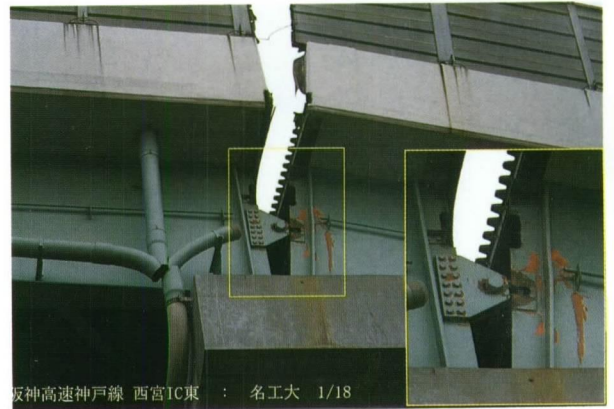


写真-3.8.



写真-3.9.



写真-3.10.



写真-3.11.



写真-3.12.



ポートライナー 三宮市街 : 名工大 1/24

写真-3. 13.



西宮港大橋 : 名工大 1/18

写真-3. 14.



西宮市 浜中交差点 : 名工大 4/15

写真-3. 15.



ポートライナー 三宮市街 : 名工大 1/24

写真-3. 16.