

(58) 変位制限装置を有する落橋防止装置の開発

(株)エスイー ○ 小坂佳子
 阪神高速道路公団 関上直浩
 (株)エスイー 守谷佳也
 (株)エスイー 平山 晃

1. はじめに

平成7年に発生した兵庫県南部地震により、多数の橋梁で大きな被害が発生したことから、「道路橋示方書V耐震設計編、平成8年12月」(において、落橋防止システムの設計方法が規定された。

道示13章落橋防止システムに、“橋軸方向には、…タイプBの支承を用いる場合には落橋防止構造を、タイプAの支承を用いる場合には落橋防止構造および変位制限構造を設けるものとする。”となっている。

しかし、落橋防止構造と変位制限構造を別々に設置することは、支承部の構造上と維持管理の上から困難な場合が考えられる。

このような現状をふまえ、タイプA支承を対象とし、PC鋼材を使用した落橋防止構造に変位制限構造を兼ね備え、かつ従来の装置と比較して、はるかに多くの地震エネルギーを吸収することが出来る落橋防止システムの開発を行った。

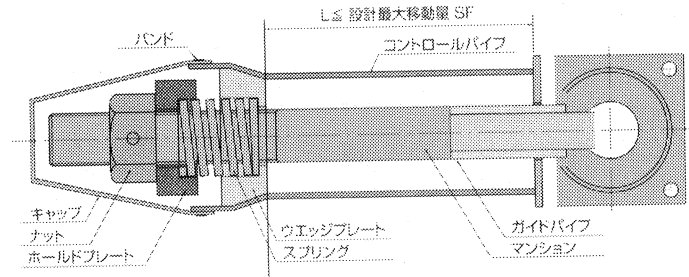


図-1 タイブリッジの概略図

本論では、この全く新しいタイプの落橋防止装置(タイブリッジ)の概要と、開発経緯、性能試験の内容について報告する。

新しいタイプの落橋防止装置(タイブリッジ)の概略図を図-1に示す

2. 変位制限装置付き落橋防止システムの概要と開発コンセプト

- 1) 温度変化時および中小規模地震時は、スプリングで対応する。
- 2) 大規模地震時は、変位制限装置と落橋防止装置が2段階で機能し、本装置の大きな特徴である、地震エネルギーを吸収し、衝撃的な地震力を緩和する。
- 3) 設定した移動量を越えた場合、通常の落橋防止装置として機能する。

3 構造性能と実験

衝撃的な地震力を緩和できる構造を確認する目的で、以下のタイプを検討した。

タイプA：鋼管に孔を設けて、孔部の座屈で地震力を緩和する。

タイプB：鋼管の円周上にボルトを数段配置し、ボルトのせん断強度で段階的に抵抗する。

タイプC：鋼管内面にクサビを配置し、めり込み力に対してフープ力で抵抗する。

タイプD：鋼管の長さによる影響の確認

A, B, C, Dタイプの形状を図-2に示す

実験の結果、以下のことが判明した。

- 1) タイプA

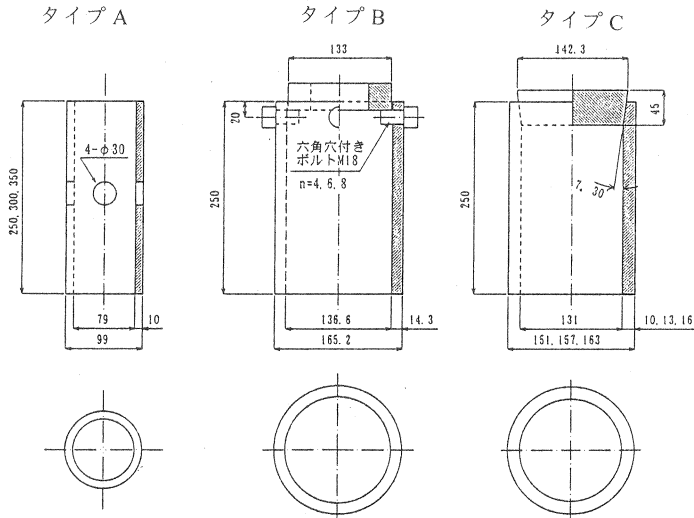


図-2 A, B, Cタイプの形状

a) 穴あき部で座屈する。

b) 最大荷重に対して、56%程度の荷重から変位が増加する。

2) タイプ B

a) ボルトがせん断破壊する。

b) せん断強度はボルト本数に比例する。

c) せん断強度は計算値とほぼ同じ。

d) 破壊時の変位が少ない。

3) タイプ C

変位が増加し、ある一定荷重に達すると、荷重がほぼ一定となり、変位のみ増加する。

4) タイプ D

降伏荷重は、長さに関係なく、降伏荷重はほぼ同じである。

鋼管寸法が、 $R/t=50$ であるため、座屈ではなく圧壊と判断される。

各タイプの荷重と変位を、図-3に示す。

前記コンセプトを満足する条件として、①衝撃的な地震力を緩和する。②変位時に荷重の変動が少ない。③大きな荷重に対応出来る。であるため、試験結果から、変位が増加しても荷重がほぼ一定しているタイプ C (フープ力で抵抗) を変位制限構造として検討した。

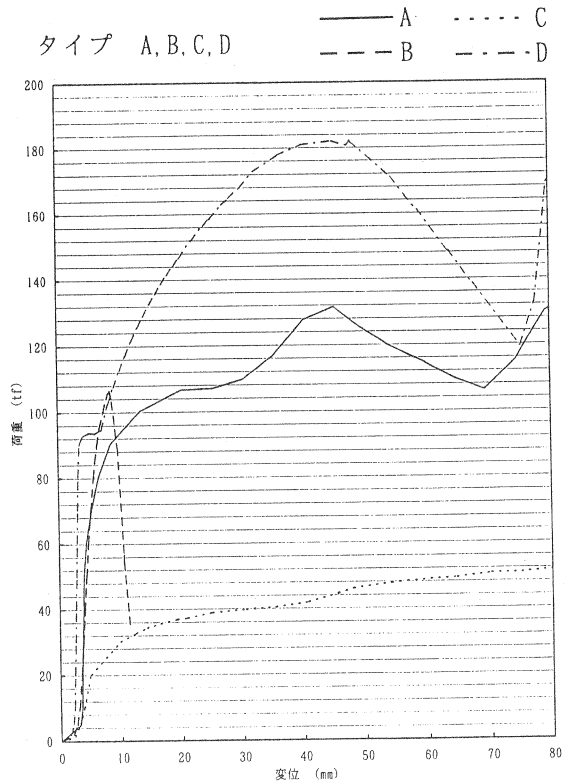


図-3 各タイプの荷重変位曲線

基本形状

鋼管内面にくさびを配置し、めり込み力に対してフープ力で抵抗する。

この時の 鋼管にくさびを圧入するプレロードと、地震荷重載荷時の状況を図-4に示す。

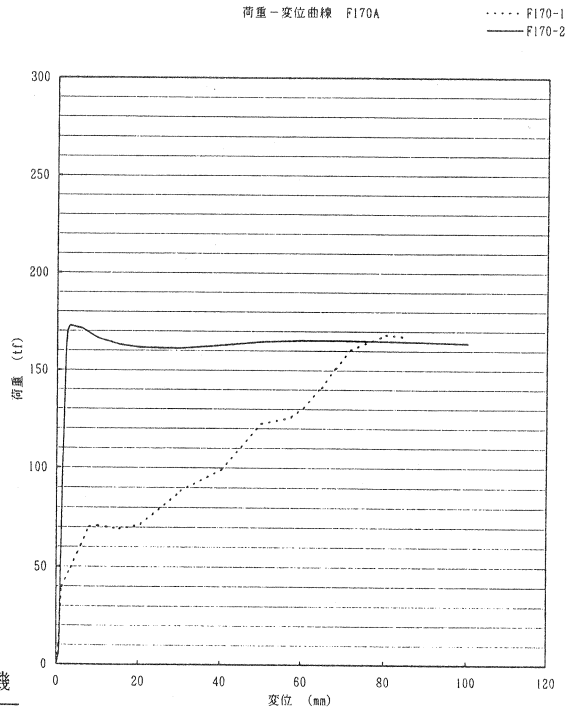
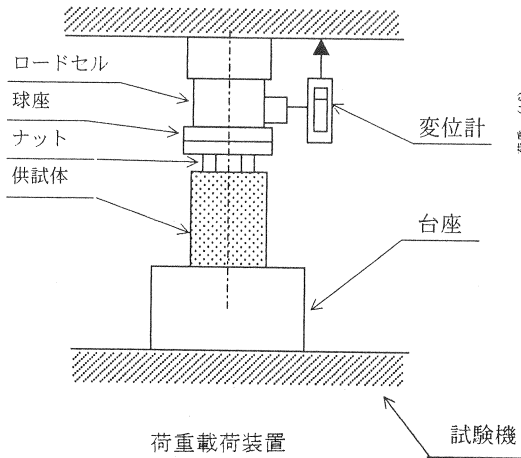


図-4 プレロードカーブ(F170-1)と再荷重時(F170-2)

4 衝撃試験

従来、落橋防止装置は、大地震発生時（例えば震度7以上）を対象として、橋を落下させないで、復旧が容易に出来るように設置されることとなっている。

前回の静的載荷試験により、装置が一定荷重で変位する構造であるから、橋梁に発生する地震時のエネルギー吸収能力に優れた構造であることが実験により判明されたので、実際の地震発生時に対する挙動効果についての検証を行うこととした。

又、同時に従来型の落橋防止装置についても、PC 鋼材の衝撃破断試験及び緩衝ゴムを使用した衝撃試験も併せて行いその効果を確認した。載荷装置を図-5に示す。

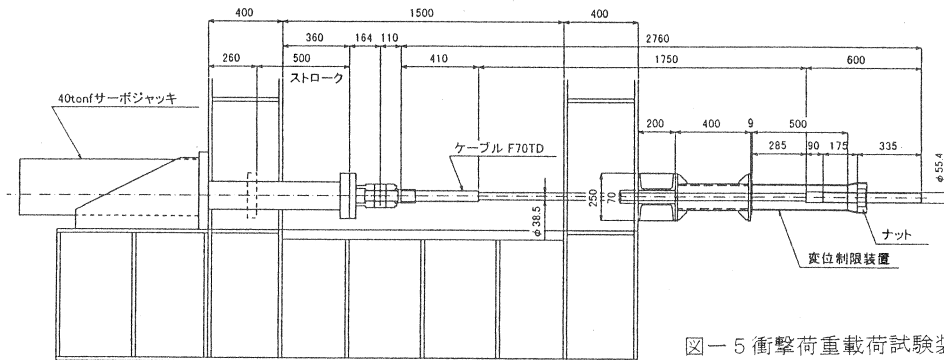


図-5 衝撃荷重載荷試験装置

今回の試験は、特に兵庫県南部地震を想定し、実測値9.2 kine(cm/sec)に対して、衝突速度を変化させ、最大13.6 kineまでの試験を行った。

1) 試験方法と目的

1-1 従来型の落橋防止装置として、PC鋼材タイプルを含む装置の衝撃荷重載荷試験による確認と緩衝ゴムの性能

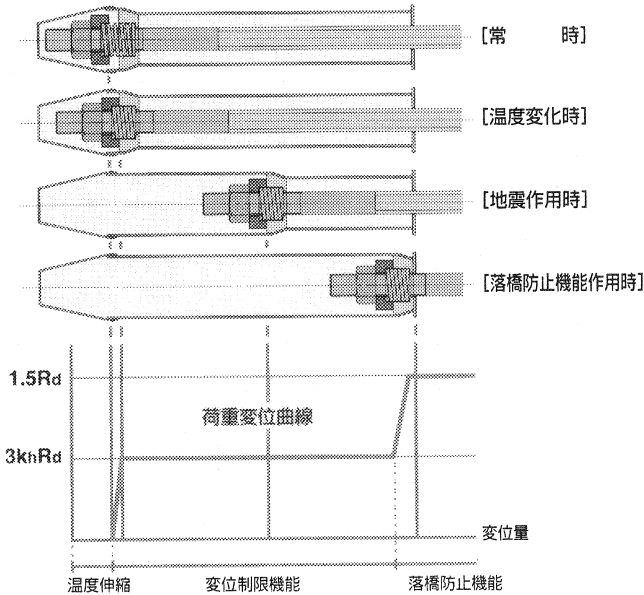


図-6 タイブリッジシステムの機能

開発した装置(タイブリッジ)の鋼管(コントロールパイプ)と荷重の関係は図-6に示すように、2段階に分かれた荷重として作用する。

ここで、第一段階目の荷重に対し、従来の落橋防止装置としての試験をA, Bに分け、緩衝ゴムの有無とPC鋼線破断までの装置としての試験を行った。

新しい形のタイブリッジとしての試験をC, D, Eとして衝撃速度の変化、試験体圧入角度の変化等、500mmの衝撃変位試験を含め、試験体最大900mmまで行った。

試験供試体の分類表を、表-1に、試験装置の性能を、表-2に示す。

分類表-1 試験供試体の分類

種類	供試体 No.	ケーブルの種類	変位可能量	テーパ角度	外径	緩衝ゴム	備考
落橋防止装置	A-1	F20TD	スプリング	—	—	有	PC鋼線破断
	A-2	F20TD	スプリング	—	—	無	PC鋼線破断
	B-1	F70TD	スプリング	—	—	有	
	B-2	F70TD	スプリング	—	—	無	
変位制限装置	C-1	F70TE	500mm	3°	φ137mm	無	
	C-2	F70TE	500mm	5°	φ137mm	無	
	D-1	F70TE	700mm	3°	φ137mm	無	
	D-2	F70TE	700mm	5°	φ137mm	無	
	E-1	F70TE	900mm	3°	φ137mm	無	
	E-2	F70TE	900mm	5°	φ137mm	無	

表-2 試験装置の性能

水平荷重	±400KN
水平変位	±250mm
水平加速度	0.5~136kine(cm/sec)

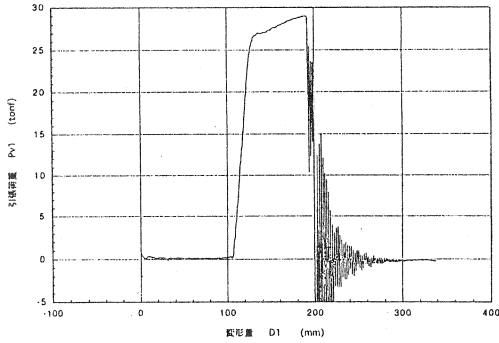
2) 衝撃試験の結果と考察

2-1 A-1, A-2において、落橋防止装置としての衝撃試験にたいして、PC鋼材の破断試験では、緩衝ゴムの影響はほとんど見られないが、荷重上昇時の変形勾配が、緩衝ゴム付きの方(A-1)が、弱冠緩い傾向が見られる。衝撃破断をさせた後の、装置全体としての調査では、PC鋼材の破断は、絞り破断であり、

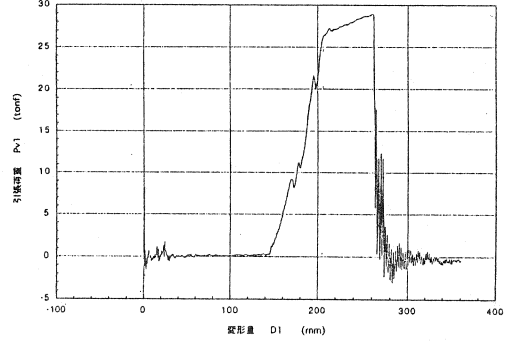
良好な結果である。定着体・ねじ部その他には、損傷は無く、落橋防止装置としての機能を破断時まで、充分発揮させる装置であると言える。

図一七は緩衝ゴムが無い場合、図一八は緩衝ゴムが有る場合である。

尚、図一七の変形勾配の傾きは、PC 鋼線の伸び量、約 5 mm である



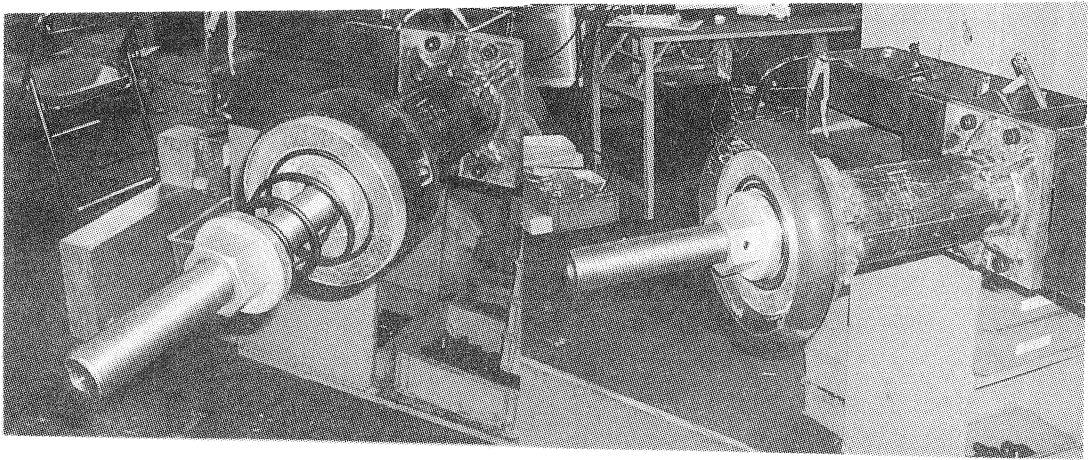
図一七 A-2 緩衝ゴムが無い場合



図一八 A-2 緩衝ゴムが有る場合

2-2 B-1, B-2 については、A と同様に、衝撃荷重をかけて、しばらく荷重を保持したが、緩衝ゴムの影響はほとんど見られなかったが、荷重上昇時の勾配については、緩衝ゴムがある方が、弱冠緩い傾向が見られる。写真一1と写真一2は、B-1に、載荷時の緩衝ゴムの変形状況である。

衝撃荷重載荷後の装置全体としては、PC 鋼材、定着体その他 損傷は無く、落橋防止装置としての設計荷重を充分満足させる装置である。



写真一1 B-1 荷重載荷前

写真一2 B-1 荷重載荷後

3) 変位制限装置として、衝撃荷重載荷を行い、今回試験の目的である、地震時のエネルギー吸収状況、装置にかかる荷重の変化その他について、測定した。

☆ 衝撃載荷、100カイン以上の速度で衝撃を与えた場合、0.02~0.03sec後には、荷重は一定状態に落ち着くように見えるが、デジタルで細かく解析すると、波打ち状態であることが判る。これは、スリーブを押し広げ変位させるときに発生するノッキング現象である。一定荷重としては、この上限に近い部分とした。このことを衝撃変位一定荷重と呼び、変位制限の荷重とした。

☆衝撃荷重載荷時の抵抗荷重が持続する構造であり、エネルギーの吸収の大きい変位制限装置であることが、衝撃実験において証明された。

☆ 変位量900 mmを想定して行った衝撃試験でも問題はなく、大きい変位量に対しても有効である。写真-3は荷重載荷前であり、写真-4は載荷後、鋼管が変形している。

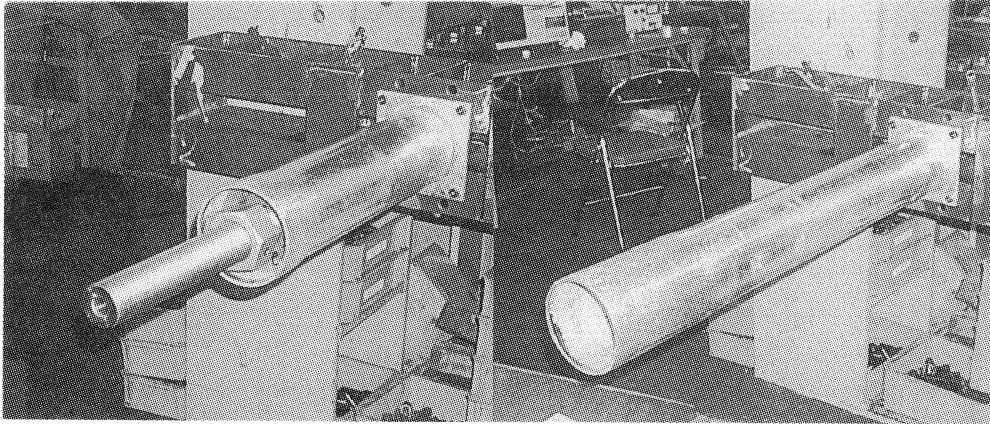


写真-3 プレロード時

写真-4 衝撃荷重載荷後

図-8は衝撃荷重載荷による変位・荷重曲線である、図-9は従来の緩衝ゴムとの比較図である。地震エネルギーの吸収量が大幅に増加したことが解る。

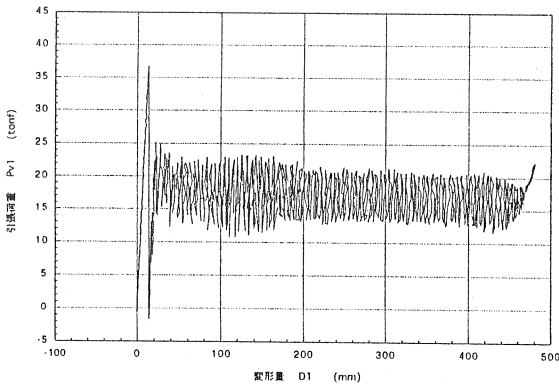


図-8 衝撃荷重載荷による変位

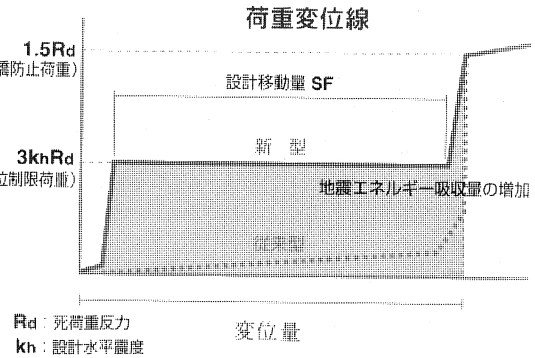


図-9 従来の緩衝ゴムとの比較図

終わりに

今回、開発した、装置は、地震エネルギーの吸収するという特徴以外にも以外にも、第一段階の荷重及び変位量を自由に設定できると言う利点もある。従って、変位制限装置(3kRd)としての機能以外に、ジョイントプロテクター(KhRd)としても使用出来る。

以上のことから、特に、桁と橋台などと繋ぐ落橋防止装置として最適である。

桁間を繋ぐ場合には、厳密には変位制限装置とは言えないが、プラスアルファの性能を持つと言える。

「道路橋示方書・同解説V耐震設計編13.3」解説によると、『落橋防止装置と変位制限構造は、類似した構造となる場合でも、その機能は異なっているため、原則としてこれらは兼用してはならない』

となっているが、本装置は、全く設計荷重の異なる2つの要素を持ち合わせた構造であり、それぞれの持つ役割の範囲も別である。また、破壊でなく、鋼管の変形により地震エネルギーを吸収し、しかも機能終了後には落橋防止装置としての機能は損なわれていない。従って、13.3解説に抵触しない装置であると考えている。