

東京都立大学 工学研究科 土木工学専攻 学 佐々木 光次
 東京都立大学 工学研究科 土木工学専攻 正 長嶋 文雄
 (株)オリエンタルコンサルタンツ 正 大竹 省吾

1. はじめに

激震時に橋桁と橋台のパラペットあるいはサイドブロックやストッパーとの衝突が起きた場合に、橋桁の損傷を防ぎ、下部工へ伝達される衝撃エネルギーを減少・吸収させる目的で緩衝装置が設置される。この緩衝装置として形鋼を使用した鋼製緩衝装置を用いることを提案している(図-1(a), (b)参照)。過去の検討結果^{1), 2), 3)}によれば、鋼製緩衝装置は比較的安価に製作することが可能であり、また僅かな設置スペースで大きな吸収エネルギーを見込むことができそうである。本報告は、鋼製緩衝装置の静的繰返し試験および破壊挙動解析を通して得られたエネルギー吸収性能についてまとめ、さらに塑性設計法を用いた耐衝撃設計法に関する基礎的な検討を行ったものである。

2. 鋼製緩衝装置の耐震・耐衝撃設計法の検討

(a) 鋼製緩衝装置の荷重変形特性 材質はSS400相当とし、極力入手が容易な市販の形鋼を用いて製作できるものとして、図-2に示すような4種類の鋼製緩衝装置を試作した。静的繰返し载荷試験で得られた荷重-変位関係曲線を図-3に示すが、いずれの場合も最大荷重 P_{max} に達して以後は、圧縮変位の増加に対する荷重変動は僅かな状態がしばらく持続し、大きな吸収エネルギーが期待できる特性を有している。吸収エネルギーは、したがってほぼ最大荷重と変位量との積で近似することができる。また、緩衝材が機能している限りは、下部工への伝達荷重は最大荷重と等しいことになる。このように伝達荷重が明確なことが本緩衝工の特徴である。

(b) 鋼製緩衝装置の最大荷重と吸収エネルギーの算定方法 円管タイプの鋼製緩衝装置を例にして、最大荷重と吸収エネルギーの算定方法について検討する。円管の片側部分に作用するモーメント M は次式で示される。

$$M = (1/3)Pe \quad (\text{他のタイプについては図-4および表-1に記載した。}) \quad (1)$$

ここで、 P は荷重、 e は溶接ビード端部から鋼管の中央断面の中心軸までの距離である。また、円管の片側部分の全塑性モーメント M_p は、断面内の応力の釣り合い、 $\sigma_{max}A_t + \sigma_{max}A_c = 0$ (図-1(b))を仮定したとき次のようになる。

$$M_p = 2 \times d \times (t/2) \times (t/4) \times \sigma_{max} = 2 \times 180 \times 3.0 \times 1.5 \times 64.8 = 105,000 \text{ kgf mm} = 105.0 \text{ tf mm} \quad (2)$$

ここで、 d は鋼管の長さ、 t は板厚(6mm)である。また、 σ_{max} には、SS400の鋼棒の引張試験で得られた真応力の最大値である64.8 kgf/mm²を用いた。したがって、最大荷重 P_{max} は次のように計算される。

$$P_{max} = 3M_p / e = 3 \times 105.0 / 12 = 26.25 \text{ tf} \quad (3)$$

最大吸収エネルギー E_{max} は、有効最大変位を $\delta_{max} = 70 - 23 = 47 \text{ mm}$ とすると、次式で計算できる。

$$E_{max} = P_{max} \times \delta_{max} = 19.53 \times 47 = 917.9 \text{ tf mm} \quad (4)$$

設計は次のような手順で行えばよい。まず①衝突エネルギー E_0 を算定する($E_0 = 0.5 \times mv^2$)。②下部工への最大伝達力 T_{max} を設定する(下部工の損傷を防ぐ目的)。③ $T_{max} \geq nP_{max}$ を満足する緩衝材断面を定める(n は緩衝材の本数)。

(c) 設計例と衝撃シミュレーション解析結果 鋼製落橋防止装置(図-5)を例にし、鋼製緩衝装置の有無による損傷の違い、エネルギー吸収量などについて検討した。衝突体重量を7.3 tf、衝突速度は1.08 m/secとした(衝突エネルギー $E_0 = 0.434 \text{ tf m}$)。鋼製緩衝装置は円管型とし、上記の方法で設計した($t = 3 \text{ mm}$, $\phi = 70 \text{ mm}$, $d = 100 \text{ mm}$, $P_{max} = 2.60 \text{ tf}$, $n = 4$, $T_{max} = 10.4 \text{ tf}$ (ただし、歪み速度効果により2割程度上昇する))。実験結果に基づき各種の解析パラメータを予め十分吟味された衝撃解析モデルを用い、衝撃解析ソフトLS-DYNAを用いて衝撃解析を行った。図-6には鋼製緩衝装置の変形図を、図-7には緩衝装置の有無による伝達力の時刻歴を示した。また、表-2には損傷度の比較を示した。緩衝装置のない場合は、定着ボルトとコンクリート間の付着が部分的に切れ、ボルトの抜け出しが生じた。この引き抜きに要する仕事で衝突エネルギーを殆ど吸収した。一方、緩衝装置を付けた場合は付着切れが起こらず、ボルトに僅かな塑性変形が発生した程度であった。鋼製緩衝工は衝突エネルギーの約9割を吸収した。

3. むすび

鋼製緩衝装置を用いれば、最大伝達荷重を任意に定めることができ、下部工への影響を調整できるため、パランスのとれた耐衝撃設計が可能である。吸収エネルギーの計算も式(1)～式(4)を使って簡単に行うことができる。

キーワード(鋼製緩衝装置・耐衝撃設計・耐震性能・緩衝工)

連絡先(〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1, 東京都立大学工学研究科土木工学専攻, TEL 0426-77-2774, FAX 0426-77-2772)

[参考文献] 1) 都築・長嶋・中田・大竹・金子：鋼製緩衝装置の荷重変形特性に関する実験的検討、鋼構造年次論文報告集、No.7,'99. 2) 長嶋・皆川・島田・寺尾・佐藤：鋼製緩衝材の荷重変形特性に関する解析的検討、鋼構造年次論文報告集、No.7,'99. 3) 耐震・免震研究部会報告書、鋼橋技術研究会、平成 11 年 11 月。

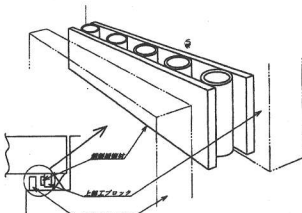


図-1 (a) 鋼製緩衝装置設置イメージ

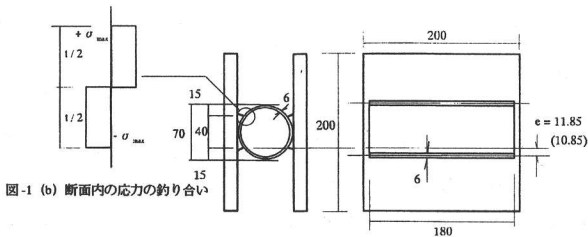
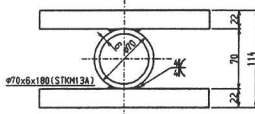
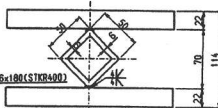


図-1 (b) 断面内の応力の釣り合い

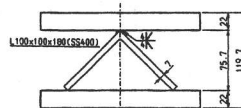
a) 円管タイプ



b) 角棒タイプ



c) 山形タイプ



d) クランクタイプ

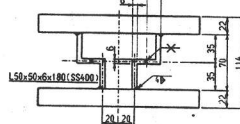


図-2 鋼製緩衝装置

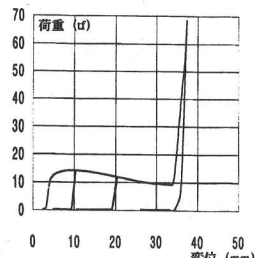
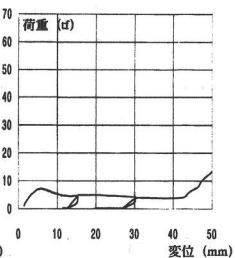
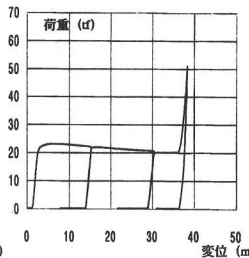
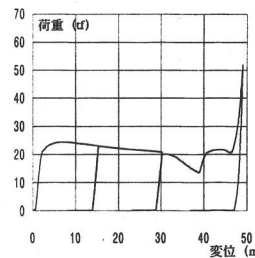


図-3 荷重-変位関係曲線

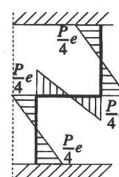
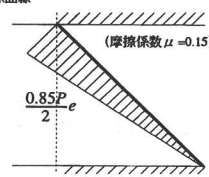
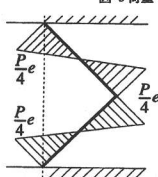
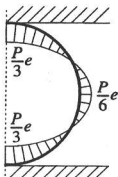


図-4 各タイプモーメント図

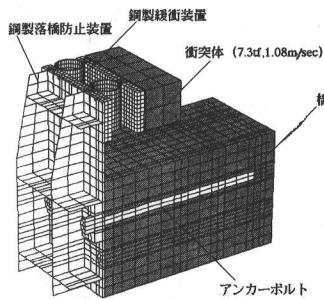


図-5 緩衝装置を有する鋼製落橋防止装置 (1/2 解析モデル)

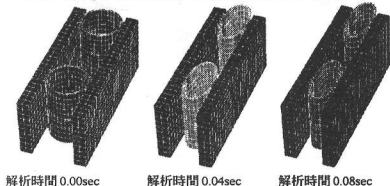


図-6 鋼製緩衝装置変形図

緩衝装置最大荷重の比較 Pmax (tf) e (mm)				
試験体	a	b	c	d
実験値	24.18	22.64	4.90	14.38
計算値	26.25 (e=12.0)	23.08 (e=18.2)	5.17 (e=64.2)	14.48 (e=29.0)

表-1 最大荷重の比較

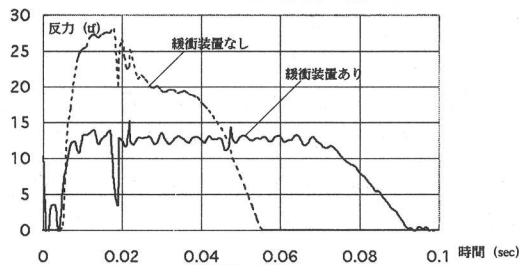


図-7 伝達力の比較

鋼製緩衝装置の有無による比較					
設置	タイプ	最大変形量 (mm)	残留変位量 (mm)	アンカーボルト軸方向変位 (mm)	アンカーボルト軸方向変位速度 (1/sec)
設置なし	1 段	24.0	19.1	3.600	3.10
	2 段	23.0	16.4	3.900	5.60
	3 段	4.6	0.8	0.135	1.70
設置あり	2 段	4.0	0.8	0.132	0.46
	2 段	4.0	0.8	0.132	0.46
	2 段	4.0	0.8	0.132	0.46

表-2 損傷度の比較