

論文 車両用防護柵基礎一体型プレキャストL型擁壁の実車衝突特性

張 日紅^{*1}・金丸 和生^{*2}・川島 満成^{*3}・中澤 隆雄^{*4}

要旨: 車両用防護柵基礎一体型プレキャストL型擁壁は、種別Bの防護柵支柱を設置した状態で、車両の衝突荷重に対して必要な擁壁の安定性および強度を有し、防護柵の衝突車両誘導性能などを発揮できる製品である。本研究では静的載荷試験を行うとともに車両用防護柵B種の規定衝撃度相当以上となる大型貨物車実車衝突試験を行った。静的荷重および衝突荷重を作用させた場合の擁壁の変位等の測定を行い、擁壁同士の連結効果の検討ならびに擁壁に設置した防護柵が有すべき衝突車両の誘導性能の検証を行った。また、静的荷重と衝突荷重作用時の変位などの違いを明らかにした。

キーワード: プレキャストL型擁壁, 車両用防護柵, 静的試験, 実車衝突試験, 変位, 応力

1. はじめに

近年、車両用防護柵に関する研究によって、コンクリート構造物に設置する各種別の車両用防護柵に作用する衝突車両の衝突荷重がある程度明らかになった。平成11年に改定された「道路土工・擁壁工指針」¹⁾では、擁壁の頂部に車両用防護柵を設置する場合、擁壁の安定計算および壁の部材設計には、防護柵に作用する衝突荷重を考慮するようになった。

従来のプレキャストL型擁壁は、衝突荷重を考慮した設計および性能検証を行っていないため、車両用防護柵（ガードレール）を施工する場合には、衝突荷重に抵抗するのに必要な土量を確保するため、車両用防護柵支柱をL型擁壁のたて壁から1.0m程度離して土中に設置する必要がある。また、これだけの距離を確保できない場合には、現場打ちやプレキャスト製品などによる独立型車両用防護柵基礎を設ける必要がある（図-1）。これらの対策は、用地が広く必要になり、または別途作業が必要になるなどの課題があった。

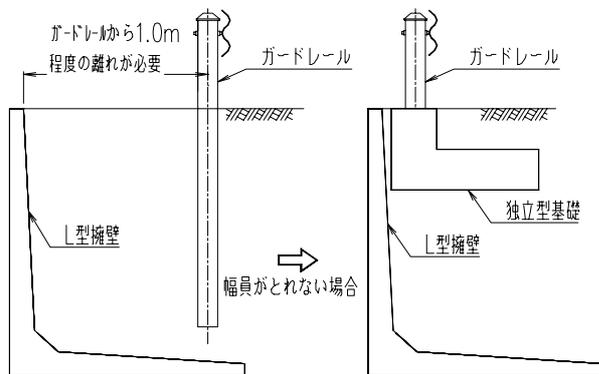


図-1 L型擁壁でのガードレールの設置方法

そこで、種別BまたはC²⁾の車両用防護柵支柱を設置した状態で、「道路土工・擁壁工指針」に規定された支柱式防護柵の衝突荷重に対して、必要な擁壁の安定性および部材耐力を有し、防護柵の衝突車両誘導性能などを発揮できる車両用防護柵基礎一体型プレキャストL型擁壁を開発した（以下：防護柵基礎一体型L型擁壁）。この防護柵基礎一体型L型擁壁は、工場製品の関係で幅が2mになっており、使用する際には数本を連結して車両の衝突荷重を受持つことになる（図-2）。

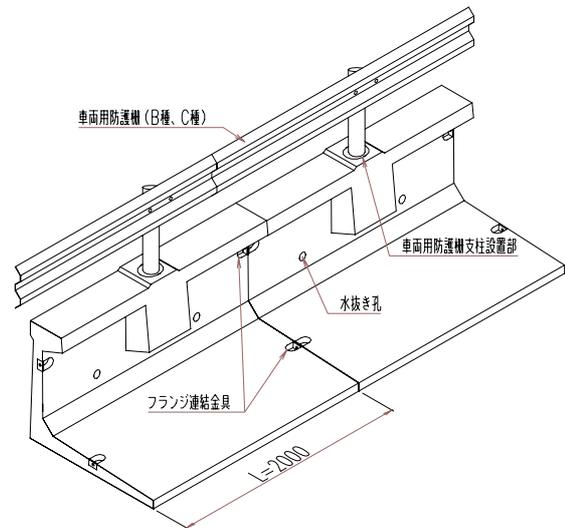


図-2 防護柵基礎一体型L型擁壁の概要

本研究では、この防護柵基礎一体型L型擁壁に対して静的載荷試験と大型貨物車実車衝突試験での擁壁の変位などの違いを検証した。また、静的試験では、防護柵基礎一体型L型擁壁を連結して10%縦断勾配で設置した状態で車両衝突荷重に相当する水平荷重を作用させ、

*1 和光コンクリート工業（株） 製品開発チームリーダー 博士（工学）（正会員）

*2 和光コンクリート工業（株） 代表取締役 工修

*3 和光コンクリート工業（株） 製造管理部長（正会員）

*4 宮崎大学工学部土木環境工学科教授 工博（正会員）

製品の安定性と強度を確認するとともに、車両衝突荷重に抵抗するために連結している擁壁間の連結部分に生じる応力の分析も行った。

2. 試験概要

2.1 静的試験の概要

(1) 試験体

縦断勾配 10% で高さ 1500mm の防護柵基礎一体型 L 型擁壁 3 本を連結して設置した試験体 1, 試験体 2 を対象擁壁とした。図-3 に試験体 1 と試験体 2 の設置概要を示している。擁壁の裏込め土は、砂質土を用いた。また、擁壁の基礎部分の基礎砕石厚さが 15cm, 均しコンクリートの厚さが 10cm とした。擁壁本体と均しコンクリートの間に 1cm 程度のモルタルを敷いた。

の周囲を砂でかたく詰め、その上下 5cm をモルタルでシールした。

(2) 試験方法

試験体 1, 試験体 2 の中間部の No.2, No.5 の擁壁に設置した支柱に水平荷重を作用させ、鋼製支柱が降伏までに載荷した。水平荷重の作用点は、支柱の擁壁の天端から高さ 0.6m のところであった。「道路土工・擁壁工指針」には、擁壁の安定計算およびたて壁の部材設計に用いる支柱式車両用防護柵の種別 B, C の衝突荷重が 30kN と規定しているが、本試験では、支柱の降伏を確認できるまで単調増分載荷を行った。水平荷重は、ロードセルにより記録した。

(3) 測定項目

静的試験において、変位計を用いて各試験体の擁壁天

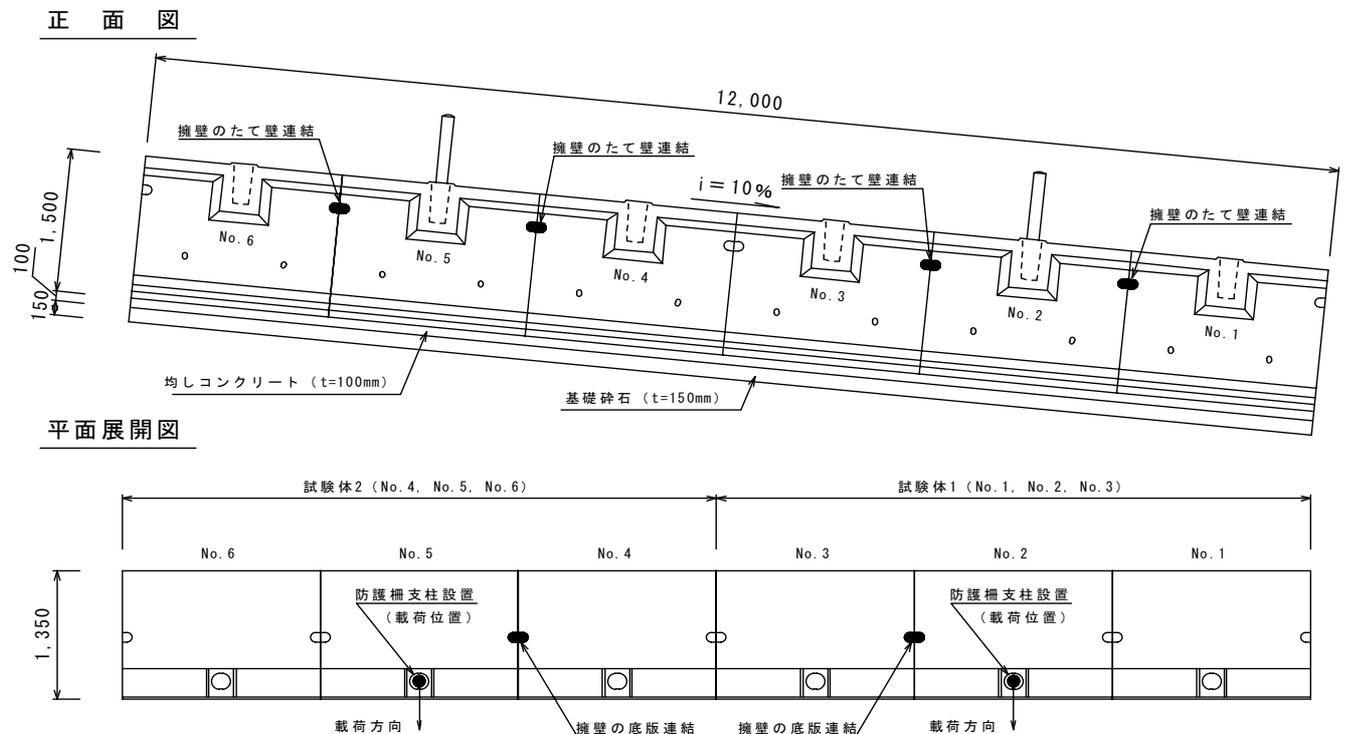


図-3 縦断勾配設置時の静的試験概要

試験体 1 は No.1, No.2, No.3 の擁壁からなり、No.1 と No.2 の擁壁は、たて壁のフランジのみを連結し、No.2 と No.3 の擁壁は、たて壁および底版のフランジを連結している。試験体 2 は、No.4, No.5, No.6 の擁壁からなり、No.4 と No.5 の擁壁は、たて壁および底版のフランジを連結し、No.5 と No.6 の擁壁は、たて壁のフランジのみを連結している。なお、試験体 1 と試験体 2 との間は、連結していない。

試験体 1 の No.2 擁壁と試験体 2 の No.5 擁壁にそれぞれ車両用防護柵種別 B 用支柱を設置した。支柱の擁壁天端からの埋め込み深さは 400mm で、擁壁内の支柱設置方法は、「防護柵の設置基準・同解説」²⁾ に準じ、支柱



写真-1 縦断勾配設置時の静的試験概要

端および底部での変位を測定した(写真-1)。また、水フランジに発生するせん断応力を求めた。主鉄筋の応力測定は、たて壁の支柱設置箇所の左右に位置する主鉄筋に取り付けたひずみゲージの測定結果から算出した。ひずみゲージは、たて壁に作用する曲げモーメントが最も大きいたて壁と底版の接合部分に取り付けた。フランジのせん断応力は、フランジの表面に取り付けた3軸のロゼットひずみゲージの測定結果より算出した。3軸のひずみ測定値が ε_1 、 ε_2 、 ε_3 とした場合、フランジの最大せん断応力 τ_{max} は以下の式(1)で算出した。

$$\tau_{max} = \frac{E}{2(1+\nu)} \sqrt{2(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2} \quad (1)$$

2.2 実車衝突試験

(1) 試験体

防護柵基礎一体型 L 型擁壁の衝突荷重に対する安定性、強度および天端に設置した防護柵の衝突車両誘導性を確認するため、衝突エネルギーが防護柵種別 B 相当以上の大型貨物車による実車衝突試験を実施した。試験体は高さ 1500mm の防護柵基礎一体型 L 型擁壁 8 本(延長 16m) を直接基礎上に設置したものを対象とした。この試験体には、車両が衝突する付近の擁壁 3 基 No.3, No.4, No.5 のたて壁と底版を連結した。擁壁の裏込め土質や基礎の処理は、前述静的試験の試験体と同じ処理方法であ

った。車両用防護柵種別 B の設置スパンが 7 スパンであり、防護柵の延長は 15m であった。支柱の設置方法は前述静的試験の支柱設置方法と同じであった。衝突試験用試験体の概要は、図-4 に示す。

(2) 衝突試験の条件

大型貨物車衝突試験での車両の衝突条件は、衝突エネルギーが防護柵種別 B の衝撃度規定値 60kJ 相当以上に設定した。本試験に使用した大型貨物車は荷台にコンクリートブロックおよび土嚢袋を積載し、総質量 m は 20.15t であった。車両の衝突速度 V (km/h) および衝突後の離脱速度は、図-4 に示す光電管センサーおよび衝突箇所の上空に設置した高速度カメラの撮影フィルムの解析などにより測定した。防護柵に対する車両の衝突角度 θ および離脱角度は、車輪の軌跡から測定した。大型貨物車の防護柵に対する衝突エネルギーは以下の式(2)で算出した。

$$I_s = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \left(\frac{V}{3.6} \cdot \sin \theta\right)^2 \text{ (kJ)} \quad (2)$$

(3) 測定項目

大型貨物車の実車衝突試験において、擁壁天端に設置した防護柵支柱の変形が大きくなると予想した No.4, No.5, No.6 の擁壁の変位を測定した。衝突時の擁壁天端の変位は、レーザー式の変位計を用いてサンプリングした。衝突後の残留変位は擁壁の底部に設置した変位計お

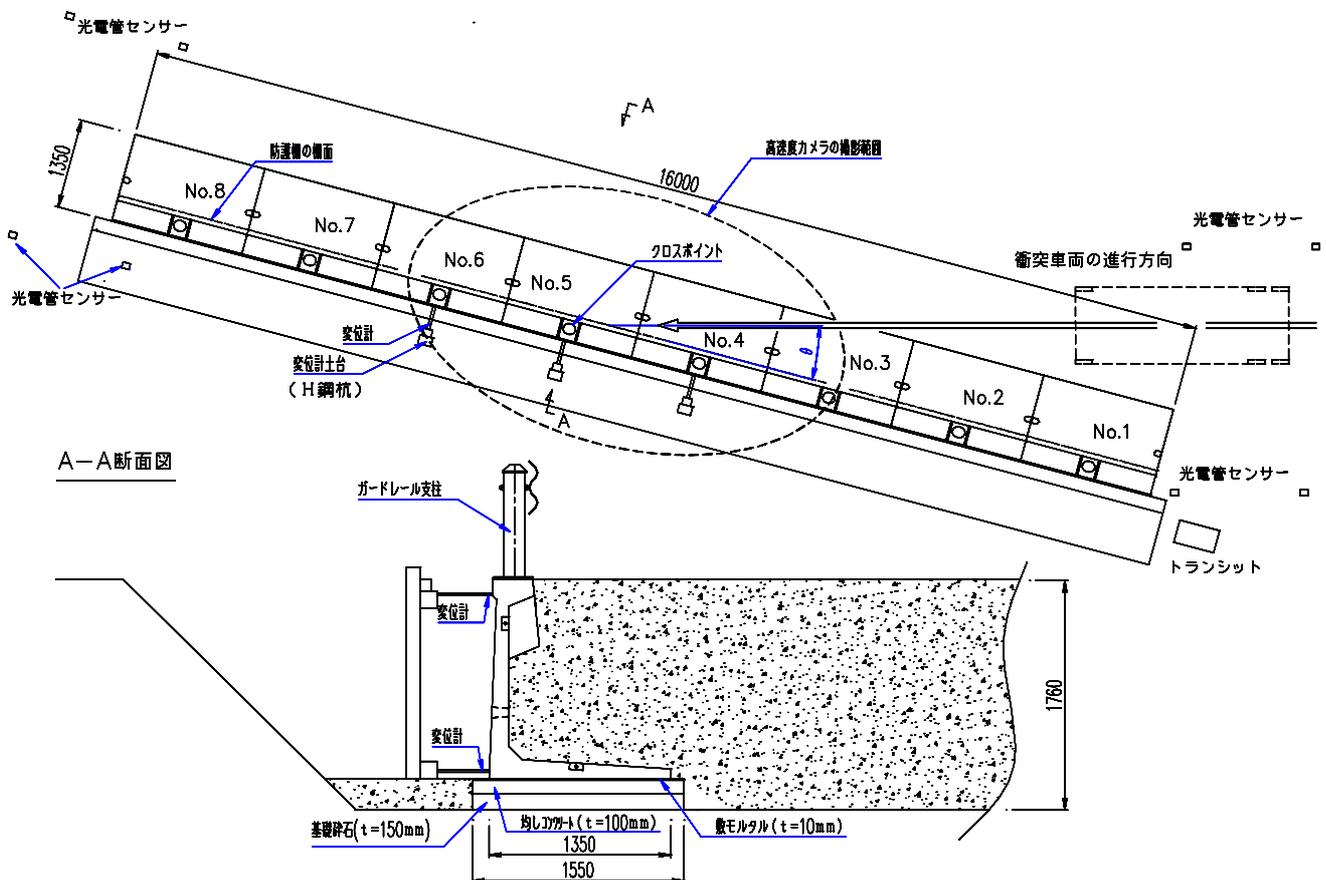


図-4 大型貨物車衝突試験の概要

よびトランシットを用いて測定した(図-4, 写真-2)。衝突時の擁壁の挙動は高速ビデオカメラによって記録した。衝突後に目視等により、たて壁の前面、背面および底版のひび割れの有無を観察した。



写真-2 実車衝突試験体の設置状況

3. 試験結果

3.1 静的試験の結果

(1) 擁壁の変位

水平荷重作用下における試験体1, 試験体2の各擁壁天端の変位状況を図-5に示す。

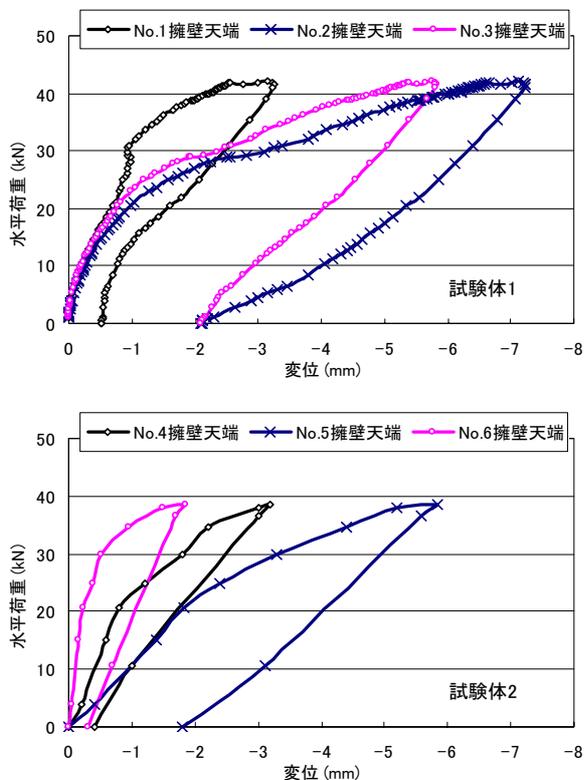


図-5 静的試験での擁壁天端の変位

二つの試験体の変位状況から、たて壁および底版の両方を連結したNo.3またはNo.4の擁壁の変位は、たて壁

のみを連結したNo.1またはNo.6の擁壁の変位より、水平荷重の作用を受けたNo.2またはNo.5の擁壁の変位に近いことがわかった。No.3またはNo.4の擁壁は、No.2またはNo.5の擁壁との連結性がよいので、より大きな荷重が伝達され、No.1, No.6の擁壁に比べて、変位が大きくなった。

防護柵支柱の降伏によって、それ以上荷重をかけることができなくなった最大荷重での変位は、試験体1のNo.2擁壁天端が7.34mm, 試験体2のNo.5擁壁天端が5.93mmであった。また、それぞれのたて壁底部での最大変位は0.03mmであった。

「道路土工・擁壁工指針」に規定した支柱式車両用防護柵の種別B, Cの衝突荷重が30kNを作用させた時点の擁壁天端部分の変位は、試験体1と試験体2が共に3.3mmであった。この荷重でのたて壁底部の最大変位は0.01mmであった。

除荷した場合の残留変位は、試験体1のNo.2擁壁天端が2.21mm, 試験体2のNo.5擁壁天端が1.90mmであった。たて壁底部の残留変位は0.01mmであった。

(2) 鉄筋の応力

試験体1のNo.2擁壁, 試験体2のNo.5擁壁の主鉄筋の応力測定結果を図-6に示す。

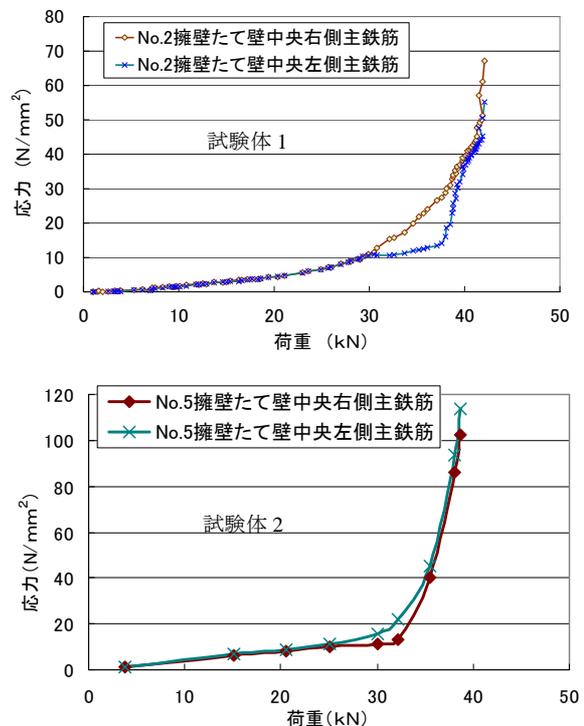


図-6 主鉄筋の応力測定結果

「道路土工・擁壁工指針」に規定したたて壁部材設計に用いる支柱式防護柵種別B又はCの衝突荷重30kNになった時点の主鉄筋の応力は20N/mm²未満であり、主鉄筋の設計許容応力180N/mm²より小さい数値であった。

しかし、その後の荷重の増加に伴い、鉄筋の応力が非常に速いペースで増加した。防護柵の支柱が降伏になった時点での擁壁主鉄筋最大応力がNo.2擁壁では $78\text{N}/\text{mm}^2$ 、No.5擁壁では $113\text{N}/\text{mm}^2$ であった。支柱式防護柵は、たわみ性防護柵であり、車両の衝突によって支柱が降伏まで変形するので、静的試験の結果より支柱が降伏した時点で壁主鉄筋の最大応力は、鉄筋応力の許容値以内であることが分かった。

(3) 連結フランジの応力

図-7に試験体1、試験2の連結フランジのせん断応力度測定結果を示す。

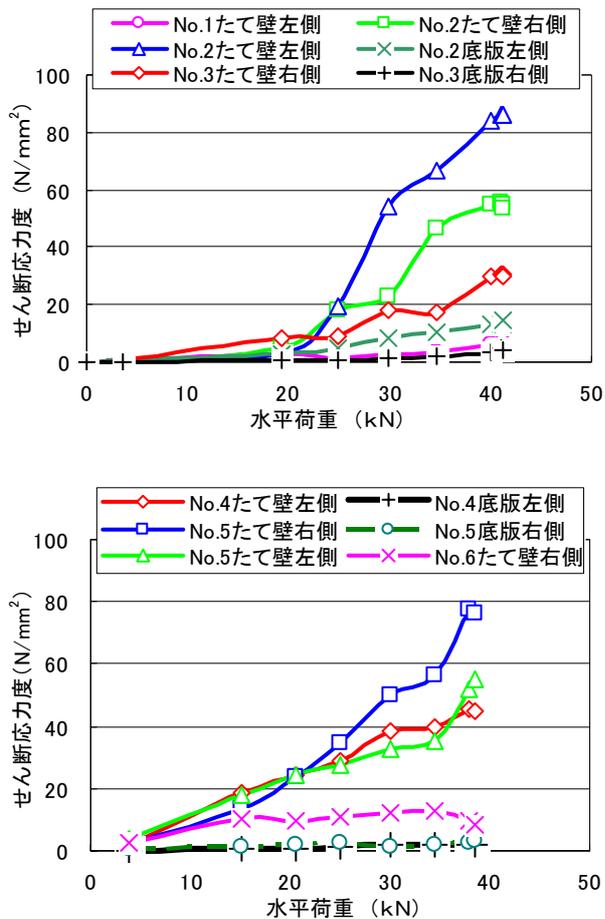


図-7 フランジのせん断応力度測定結果

試験体1と試験体2の連結フランジに発生した最大せん断応力度は $80\text{N}/\text{mm}^2$ 辺りであった。この結果は、水平荷重が 40kN とした場合、L型擁壁の連結フランジに発生するせん断応力度の計算値 $84\text{N}/\text{mm}^2$ とほぼ一致している。図-7より、防護柵基礎一体型L型擁壁は底版の連結の有無によって、たて壁間の連結フランジに発生するせん断応力にある程度の違いを生じたことが判明した。たて壁フランジのせん断応力度は、たて壁および底版の両方を連結した場合に比べて、たて壁のみを連結した時の方が小さい値であった。静的試験の結果から、

防護柵基礎一体型L型擁壁を本試験のような縦断勾配10%で設置している状態において、L型擁壁同士間の連結フランジは衝突荷重の伝達を機能しているといえる。

3.2 衝突試験の結果

(1) 衝突車両の挙動

大型貨物車による衝突実験の実施結果は、表-1に示す。写真-3は、大型貨物車がL型擁壁に設置した防護柵によって誘導された状況を示す。車両は防護柵を突破することなく、また衝突後、横転、転覆することなく安全に誘導された。離脱速度と離脱角度は、それぞれ進入速度の6割以上、進入角度の6割以下であり、防護柵に関する基準を満たした。

表-1 衝突実験の実施結果

項目	規準値	実験結果
車両質量 m	25 t	20.15 t
衝突速度 V	30 km/h	34.80km/h
衝突角度 θ	15°	15.96°
衝突エネルギー I_s	60 KJ	71.2KJ
最大進入行程*注1	0.3 m 以下	0.18 m
車両の挙動	安全に誘導	安全に誘導
離脱速度	$>$ 衝突速度 $\times 0.6$	28.86 km/h
離脱角度	$<$ 衝突角度 $\times 0.6$	6.98°

注1：最大進入行程とは、車両前輪の内側が防護柵の柵面の原位置より路外方向に踏み出る最大距離である。



写真-3 衝突車両の挙動

擁壁上方から撮影する高速度ビデオカメラ映像、ビデオ

オ映像および目視などによる確認の結果、車両用防護柵の横梁および支柱などの主要構成部材は、部材間の取り外れなどがなく、連結保持されていた。衝突された支柱は降伏し大きく変形したものの、擁壁天端から脱け出すことはなかった（写真-4）。



写真-4 擁壁天端防護柵の変形状況

(2) 擁壁の変位

トランシットを用いた衝突前後の擁壁位置の測量および擁壁の上方より高速度ビデオカメラで撮影した映像から、大型貨物車衝突時に擁壁の滑動、転倒がみられなかった。衝突箇所である No.4, No.5, No.6 擁壁の前面に設置した変位計による残留変位測定結果を表-2に示す。いずれの擁壁も衝突後の残留変位は、微小であった。

表-2 変位計による擁壁の残留変位測定結果

	No.4	No.5	No.6
擁壁天端部	0.23mm	0.32mm	*注1
たて壁底部	0.20mm	0.36mm	0.33mm

注1：No.6の擁壁天端部変位測定用レーザー変位計は、埃もしくは光線変化の影響で、計測できなかった。

衝突試験での擁壁天端部の残留変位は、静的試験での擁壁天端部の残留変位より小さくなっている。静的試験には擁壁天端部分に作用する外力が水平荷重のみに対して、衝突試験には、擁壁天端部分に作用する外力が擁壁のたて壁の変形を引起し衝突荷重の以外に、写真-3に示したように衝突車両前輪の輪荷重が鉛直荷重として作用している。この鉛直荷重によって、たて壁の変形が制限されたと考えられる。

(3) 擁壁のひび割れ発生状況

実車衝突試験において、衝突後の擁壁の外観を目視で確認したが、擁壁本体および支柱定着部にひび割れの発

生が見られなかった。また、擁壁の裏込土を取り除いた後に、擁壁の背面、底版およびフランジ連結部のひび割れの発生も見られなかった（写真-5）。別途で行った同じ防護柵基礎一体型L型擁壁の実車衝突試験で鉄筋の最大引張応力は、 80N/mm^2 近辺³⁾であり、本研究の静的試験で支柱の降伏時の鉄筋応力測定結果と同程度であったが、設計荷重とする30kN時点での応力とは大きく異なっている。



写真-5 擁壁背面の状況

4. まとめ

- 1) 静的試験において、防護柵の支柱が降伏した時点でのたて壁主鉄筋の最大応力は、鉄筋応力の許容値以内であった。
- 2) 衝突時に衝突車両の輪荷重が直接擁壁の天端に作用しているため、衝突試験での擁壁天端部の変位は、静的試験での天端部の変位より小さい。
- 3) 防護柵基礎一体型L型擁壁は、設置された種別B種車両用防護柵に所定の衝突荷重が作用しても、擁壁は安定していた。また、擁壁にひび割れなどの破損も見られなかった。
- 4) 車両が衝突した際、防護柵基礎一体型L型擁壁に設置された防護柵は、衝突車両を安全に誘導した。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路土工・擁壁工指針，丸善(株)出版事業部，1999
- 2) (社)日本道路協会：防護柵の設置基準・同解説，丸善(株)出版事業部，2004
- 3) 張日紅，金丸和生，川島満成：車両用防護柵基礎一体型プレキャストL型擁壁実物大衝突実験，土木学会第59回年次学術講演概要V，pp.315-316，2004