

プレキャスト壁高欄の接合構造の評価方法に関する研究

(株)高速道路総合技術研究所

○飛田 一彬

(株)高速道路総合技術研究所 正会員

広瀬 剛

キーワード：プレキャスト壁高欄，接合構造，衝突試験

1. はじめに

道路橋の壁高欄は場所打ちコンクリートで構築されることが一般的であったが，近年では，安定した品質，強度，耐久性の向上，現場作業の省力化，工期短縮などを考慮して，工場で製作されるプレキャスト製の壁高欄が採用されるようになってきた。RC床版の更新事業へプレキャスト壁高欄を適用することを考えると，場所打ち壁高欄と比較し，現場作業を省力化でき，施工条件によっては，工期短縮などの効果が期待される。しかし，プレキャスト壁高欄と床版の接合方法およびプレキャスト壁高欄同士の接合方法はさまざまな構造が検討されている状況であり，工事で採用するにあたっては，安全性などを確認することが必要である。本研究は，場所打ち壁高欄に求められる要求性能をもとに，既に実車による衝突安全性が確認されているフロリダ型壁高欄を対象とし，実物大の場所打ち壁高欄に台車を用いた衝突試験を行い，実車衝突試験よりも簡易かつ安価な試験方法によりプレキャスト壁高欄の接合構造の評価方法を検討したものである。

2. 壁高欄の要求性能

壁高欄の要求性能は，①車両の逸脱防止性能，②乗員の安全性能，③車両の誘導性，④構成部材の飛散防止性能の4つの性能を満足しなければならない。また，前述の性能を満足することの確認は，車両用防護柵性能確認試験法¹⁾により，大型貨物車および乗用車を用いた実車衝突試験を行うことが必要である。フロリダ型壁高欄は実車衝突試験により前述の要求性能を満足することが確認された構造である。したがって，本研究でプレキャスト壁高欄の接合構造の評価方法を検討する際には，フロリダ型壁高欄の外観形状と同一であることを条件として検討することとした。

3. 基礎試験

実車衝突試験を行った既往の研究²⁾により，壁高欄の設計に必要な衝突荷重は，衝撃度（衝突エネルギー）から換算するものとされている。防護柵の種別毎に対応する衝撃度がそれぞれ設定され，衝撃度と衝突荷重の関係は防護柵の形状によっても異なり，車両の持つ防護柵直角方向の運動エネルギーを衝突荷重に換算する式(1)が示されている。

$$F = K_f \frac{2 \cdot (1 + e_v)}{L_w \cdot \sin \theta} \cdot \left(\frac{W}{W_r} \right)^2 \cdot E_y \cdot a \quad \dots \text{式(1)}$$

ここに，F：衝突荷重（kN）， K_f ：補正比例係数（=0.1）， e_v ：車両の反発係数（=0.2）

L_w ：車軸間隔（前後輪間隔）（m）， θ ：衝突角度（度），W：車両重量（kN）

W_r ：後輪軸重量（kN）， E_y ：防護柵直角方向の運動エネルギー（kJ）

a：斜面低減係数（単スロープ型およびフロリダ型のみ考慮し，直壁型では1.0）

この換算式をもととした衝撃度と衝突荷重の関係を表-1に示す。

表-1 防護柵種別毎の衝撃度と衝突荷重の関係

種別	衝突条件			衝撃度 (衝突エネルギー) (kJ)	衝突荷重 (kN)		
	車両重量 (t)	衝突速度 (km/h)	衝突角度 (度)		単スロープ型	フロリダ型	直壁
SS	25	100	15	650	135	138	170
SA	25	80	15	420	86	88	109
SB	25	65	15	280	57	58	72
SC	25	50	15	160	34	35	43

現行の設計に用いられている衝突荷重は、車両が壁高欄に衝突した時の衝撃度が車両変形などによりエネルギー吸収された後、最終的に壁高欄に作用した荷重という整理がされており、表-1のように種別毎の衝突荷重が決められている。この衝突荷重は、既往の研究²⁾で、実車衝突試験を行った際の壁高欄に発生した鉄筋のひずみの計測値をもとにFEM解析で逆算されたものである。

本研究では、表-1の条件をひとつの目安とし、台車を用いた衝突実験を行った。その際に、台車を衝突させる載荷板と壁高欄試験体の上に緩衝材を設置し、車両変形などによるエネルギー吸収を再現することとした。これは、既往の研究³⁾で壁高欄試験体に重錘を衝突させる試験において、実車衝突試験の場合と同じ衝撃度を与えると、設計荷重よりも過大な衝突荷重が発生すると報告されており、今回の台車の場合も重錘と同様に衝突時にエネルギー吸収がないため、過大な衝突荷重の発生が予想されることから緩衝材を設置することとした。台車を用いた衝突試験装置の概要を図-1に示す。

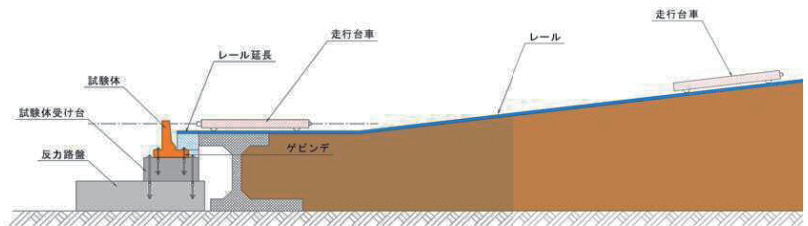


図-1 台車を用いた衝突試験装置の概要

基礎試験で使用する緩衝材の硬度は、90, 45, 30の3種類、厚さは、75, 135, 195, 215, 255, 315, 375の7種類として、これらの緩衝材の種類による緩衝効果を確認し、実車衝突試験で確認されているものと同等の衝突条件となる条件を選定することとした。基礎試験では、一般的な場所打ち壁高欄に対して、衝突時の鉄筋ひずみが弾性域となるように段階的にエネルギーを上げながら、複数回の衝突実験を同一試験体で行い、その際の緩衝材の効果を確認した。また、壁高欄に与える衝撃度は、運動エネルギーから求められ、台車の重量と衝突速度から設定できる。本実験では、台車の重量を70kNとし、台車の設置高さ(距離)を変化させることで、運動エネルギーを変化させた。本実験により得られた衝撃度と衝突荷重および鉄筋ひずみの関係を図-2に示す。

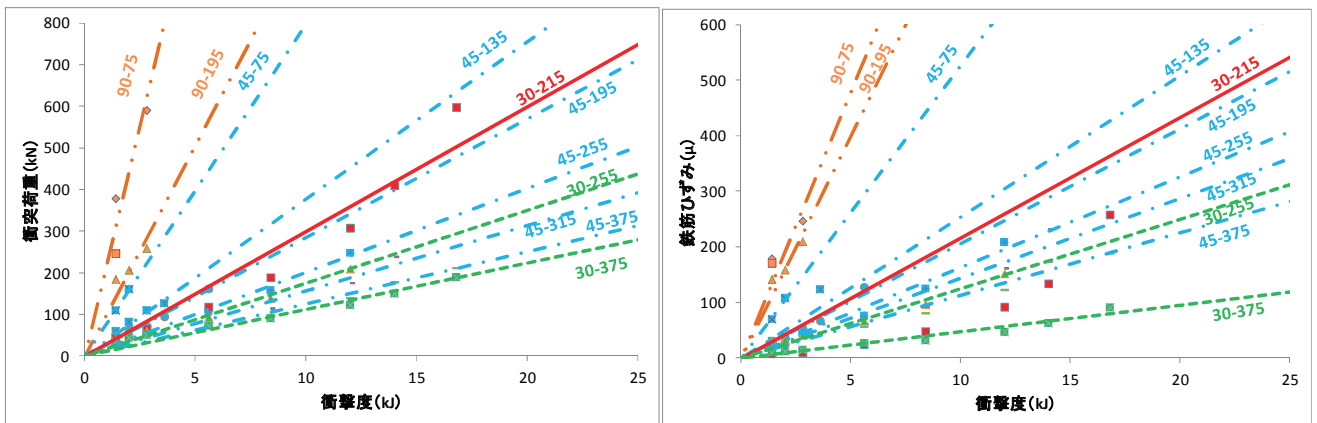


図-2 衝撃度と衝突荷重および鉄筋ひずみの関係

衝撃度と衝突荷重は比例関係にある^{1) 2)}とされていることから、図-2に示す本実験で得られた衝撃度と衝突荷重および鉄筋ひずみの関係は一次式で近似した。これらの基礎試験で得られた結果を基に、衝撃度と衝突荷重および鉄筋ひずみの関係を考慮し、実車衝突試験の結果と同様の緩衝効果を発揮することが期待できるゴム硬度 30、ゴム厚さ 215mm の緩衝材を用いて、場所打ち壁高欄への衝突試験を行うこととした。

4. 場所打ちコンクリート壁高欄での衝突試験

ここでは、一般的な場所打ち壁高欄へ台車を用いた衝突試験を行い、衝突後の場所打ち壁高欄の状況を観察することで、プレキャスト壁高欄の場合の衝突試験後の判定基準を検討することとした。前述の基礎試験により選定したゴム硬度 30、ゴム厚さ 215mm の緩衝材を用いて、衝突試験を行った結果を図-3に示す。

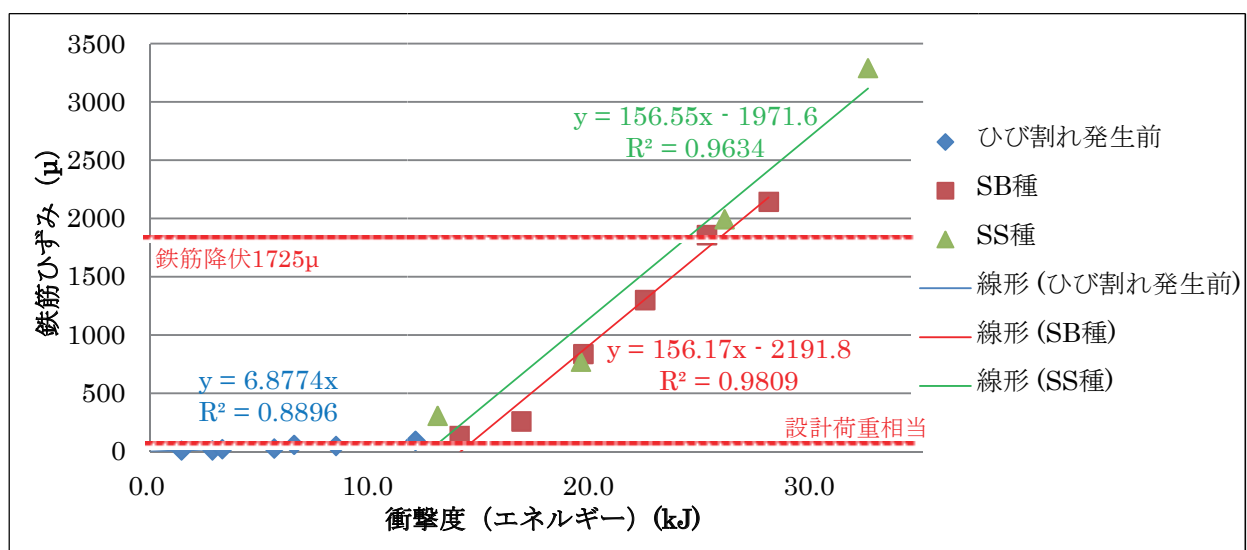


図-3 衝撃度と鉄筋ひずみの関係

図-3の結果から、衝撃度と鉄筋ひずみの比例関係は、コンクリートにひび割れが発生する鉄筋ひずみ 100μ程度を境に、勾配変化することがわかる。

壁高欄の設計に用いられる衝突荷重は、既往の研究²⁾において、SS種に対する実車衝突試験で実測した鉄筋ひずみ 41μから算出されたものであるため、本研究においては、鉄筋ひずみ 41μを発生させる衝突条件を選定することで、設計荷重相当の衝突条件を再現できると考えた。本研究で鉄筋ひずみ 41μに最も近い実測値が得られた衝突条件は、6.5kJを作用させた際の鉄筋ひずみ 51μであった。また、各防護柵種別の衝突荷重と衝突エネルギーは比例関係にあるため、SS種に対する結果を基に、他の種別の衝突エネルギーが比例関係から求められる。

ここで、設計荷重の衝突で計測された鉄筋ひずみは、SD345の降伏ひずみ 1725μに対して、非常に小さく弾性域内の値であるため、壁高欄の性能評価のためには、より大きな鉄筋ひずみが発生する衝突条件での評価が必要と考えた。図-3の結果から、場所打ち壁高欄が設計荷重に対して十分な余耐力を有していることがわかり、プレキャスト壁高欄の場合でも同様の安全性を有することの確認が必要と考え、場所打ち壁高欄の鉄筋が降伏する衝突条件での評価を行うこととした。具体的には、鉄筋ひずみ 1725μ以上が計測された衝突条件である 28kJの衝突エネルギーを作用させる条件とした。

プレキャスト壁高欄の接合構造の評価のためには、前述した設計荷重および鉄筋降伏の2つの条件を場所打ち壁高欄へ作用させ、衝突後の場所打ち壁高欄の性状をプレキャスト壁高欄の評価基準にすることとした。表-2にプレキャスト壁高欄を評価する衝突条件を示す。

表-2 試験条件

衝突条件	種別	衝突直前の エネルギー (kJ)	緩衝材種別			衝突角度 (度)	衝突位置
			ゴム 硬度	ゴム厚さ (mm)	材質		
設計荷重相当	SS	6.5	30	215	アクリロニトリル ブタジエンゴム	90	中央部 端部 橋軸方向接合部
	SA	4.2					
	SB	2.8					
	SC	1.6					
鉄筋降伏相当	共通	28					

表-2 に示す衝突条件を場所打ち壁高欄 (SB 種) に作用させた結果, 設計荷重相当においては, コンクリート表面にひび割れは発生せず, 鉄筋ひずみは弾性域内であった。鉄筋降伏相当においては, コンクリート表面にひび割れが発生 (最大ひび割れ幅 0.3mm) し, 鉄筋ひずみは降伏ひずみ以上となった。ここまでの場所打ち壁高欄に対する衝突実験の結果から, プレキャスト壁高欄の接合構造を評価する場合の性能照査内容を表-3 のように規定することを考えた。なお, ここで鉄筋降伏相当を壁高欄の耐力相当という表現にすることとした。

表-3 性能照査内容

衝突条件	項目	規格値
「設計荷重相当」の衝撃を与えた場合	外観変状	①有害なひび割れが発生しないこと ②構成部材が飛散しないこと
	構成部材の ひずみ	壁高欄および接合部に残留ひずみが発生しないこと
「場所打ち壁高欄における耐力相当」の 衝撃を与えた場合	外観変状	①壁高欄基部の背面側のかぶりコンクリートにはく離 が生じないこと ②接合部の引張部材に破断や抜けが生じないこと

5. まとめ

本研究では, 一般的な場所打ち壁高欄に対する衝突試験を行った結果を基に, プレキャスト壁高欄の接合部の評価基準案を作成した。これにより, 実車衝突試験に代わる簡易な手法により, プレキャスト壁高欄の接合構造の評価が可能となる。また, 場所打ち壁高欄は, 設計荷重に対して十分な余耐力を有していることがわかり, プレキャスト壁高欄の場合においても, 場所打ち壁高欄と同等の余耐力は必要と考えて評価基準案とすることとした。今後, さまざまな構造のプレキャスト壁高欄が開発された際に, 本研究の試験法による照査が活用され, 現場でのプレキャスト壁高欄の採用が増えることを期待したい。

参考文献

- 1) 日本道路協会：防護柵の設置基準・同解説 平成 28 年 12 月
- 2) 建設省土木研究所道路部交通安全研究室, 日本道路公団試験研究所, (社)セメント協会ほか：高速化対応型コンクリート製防護柵に関する共同研究報告書 平成 10 年 6 月
- 3) 青木圭一, 上平謙二, 神崎隆男, 田中嘉一, 高木絹華, 田村辰也：急速施工と高耐久性を目指した新たなプレキャスト壁高欄の開発と衝突安全性能 橋梁と基礎 (2013.3)