

報告 実物大によるプレキャストコンクリート製ガードレール基礎ブロックの耐力実験における性能評価

小河原 隆次*1・森田 俊哉*2・原田 隆郎*3

要旨：道路路側帯に設けるガードレール基礎の安全性と施工性の向上をはかるため、プレキャストコンクリート製ガードレール基礎ブロック（以下、「P C a ガードレール基礎」という）を開発した。そのP C a ガードレール基礎の耐力評価をするため、実物大のブロックを製作し、衝突荷重に見立てた静荷重を載荷させ、P C a ガードレール基礎の耐力実験をおこなった。その結果、P C a ガードレール基礎は車両用防護柵標準仕様・同解説に規定されているガードレール種別 B 種の衝突荷重に対し、十分な安全性を確保できることが確かめられた。

キーワード：プレキャストコンクリート、ガードレール基礎ブロック、耐力実験、性能評価

1. はじめに

通行車両の通路外への逸脱の際における車両運転手並びに周囲における被害を最小限にえるため、車両逸脱時における危険個所にはガードレールなどの車両用防護柵が設置されている。そのガードレールを設置するための基礎部分は、現場打ちコンクリート製が主流であるが、現場打ちコンクリート製においては生コンの養生期間が一般的に 28 日間と長く道路開放に時間が掛かることから、品質が安定した P C a ガードレール基礎を製作することにより、工期短縮、品質の向上、施工性の向上、供給体制の向上が期待される。

本報告は上記性能を満たす P C a ガードレール基礎の開発することを目的とする。そのためには、コンクリートの設計基準強度及び配合強度の設計、断面内部に設置する鉄筋量の設計、基本的な衝突荷重における製品への影響の確認、特にひび割れを有する場合の衝撃抵抗の確認、基礎の連続性を確保する為の接続方法、施工性などを検討する必要があることから実物大の P C a ガードレール基礎の耐力実験を行った結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 実験の種類およびひび割れ性能規格

本研究の実験は、P C a ガードレール基礎の本体耐力実験とその接続部耐力実験の 2 種類の実験をおこなった。本体耐力実験は、ガードレールに作用する荷重を基礎ブロック本体に載荷し、ガードレール支柱周辺の耐力性能の確認をおこなった。また、接続部耐力実験では、図-1 に示す接続ボルト貫通孔及び接続部埋込インサートに

最もクリティカルな影響を及ぼすことから、ガードレールに作用する荷重を本体の接続部に載荷させ、耐力性能を確認した。

ガードレールに作用させる荷重は、車両用防護柵標準仕様同解説¹⁾および道路土工擁壁工指針²⁾より、ガードレール種別 B 種の衝突荷重 (30kN) を 1 ブロック当り 1 箇所に作用させ、その衝突荷重を P C a ガードレール基礎に載荷した際に発生したひび割れ幅 (w) の基準は、建築工事標準仕様書・同解説 JASS5³⁾から参照し、あらかじめ定めた許容ひび割れ幅として 0.3mm 以下とした。

2.2 試験体概要

実験に使用する試験体は道路土工擁壁工指針²⁾に準拠させ、構造計算を行い仕様を決定し、実物大の P C a ガードレール基礎（壁高 500mm、底版幅 1000mm、製品長 2000mm）を実際の製品を想定した表-1 の材料、製造方法および配合により製作した。試験体の形状や寸法を図-1 に配筋を図-2 に示す。

2.3 試験体の作製

試験体は、製造用型枠に鉄筋を挿入し、モルタルスペーサーで鉄筋被りを保持させ、コンクリートを振動締固めにより打ち込み、蒸気養生を行い、製作した。その時に使用した材料の諸元と実験に使用した接続ボルト及びガードレール支柱の諸元を表-1 に示す。コンクリートの圧縮強度については、試験体と同一養生を行った円柱供試体により、計測した値である。また、図-3 の様に、試験体支柱穴にガードレール支柱を取り付け、支柱穴とガードレール支柱の空隙部分に、試験体のコンクリート強度以上の圧縮強度を持つモルタルを充填した。

*1 茨城県コンクリート製品協同組合 品質技術委員会委員長

小河原セメント工業(株) 代表取締役社長 (正会員)

*2 茨城県コンクリート製品協同組合 品質技術委員会副委員長

カイエー共和コンクリート(株) 代表取締役社長 博士 (工学) (正会員)

*3 茨城大学大学院 理工学研究科都市システム工学専攻 教授 博士 (工学)

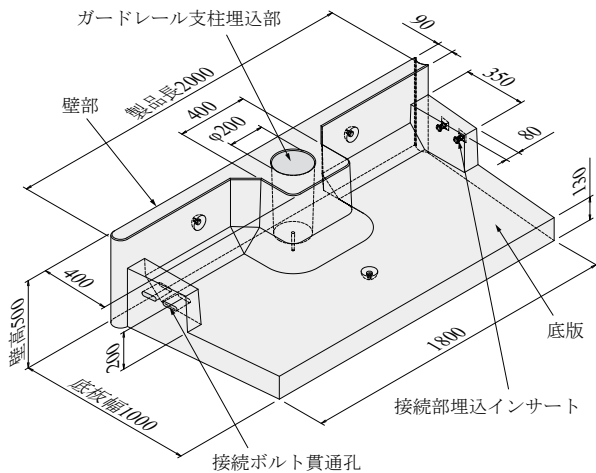


図-1 形状寸法図

表-1 材料の諸元値

コンクリートの配合									
組骨材 の最大 寸法 (mm)	スラン プ (cm)	水セメ ント比 (%)	空気量 (%)	細骨 材率 (%)	単位量 (kg/m³)				
					水 <i>W</i>	セメ ント <i>C</i>	細骨材 <i>S</i>	粗骨材 <i>G</i>	混和剤 <i>A</i>
20	15	44	1	42	170	386	776	1077	3.86
コンクリート									
種類	材齢 (日)		養生 状態		圧縮強度 (N/mm²)		弾性係数 (kN/mm²)		
試験体	14		蒸気		34.0		30.7		
モルタル	14		気乾		48.4		—		
鉄筋(SD345)及び接続ボルト(強度区分 10.9)									
種類	降伏点 (N/mm²)				引張強さ (N/mm²)		弾性係数 (kN/mm²)		
D10	362				454		177		
D13	340				451		176		
D16	351				476		174		
D19	374				533		177		
M16	785				930		—		
ガードレール支柱(Gr-A-2B)									
種類	衝突荷重(kN)				強度(kJ)		—		
A 種	55				130		—		

2.4 荷重方法

(1) 本体耐力実験

本体耐力実験では、P Ca ガードレール基礎単体での耐力性能（コンクリートのひび割れ及び縁応力、内部鉄筋応力）を確認するため、本体を図-3 の様に 90 度傾けた試験体を本体耐力実験用反力支持具に本体底版部でボルトにて固定した。実験荷重は、道路土工擁壁工指針²⁾より、試験体に取り付けたガードレール支柱の基礎本体天端より 600mm の位置で垂直に荷重させた。荷重方法は、一次荷重として試験体を 90 度傾けたため、壁部の試験体自重が死荷重となる。このため、その死荷重を荷重荷重に考慮させ、衝突荷重 (30kN) に達するまで荷重させた。除荷後、試験体が破壊するまで荷重させ、荷重荷重毎のひび割れ幅、コンクリート縁応力および内部鉄

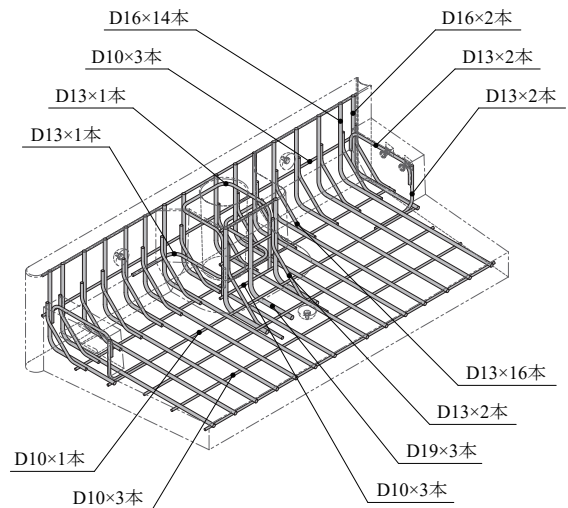


図-2 配筋図

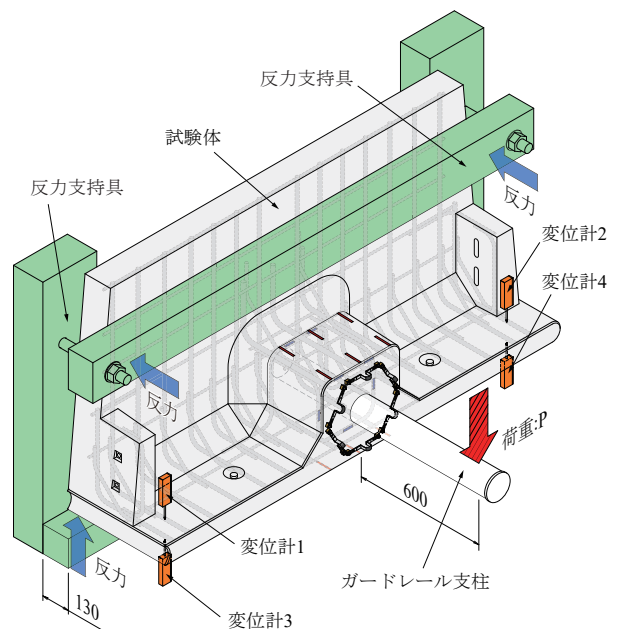
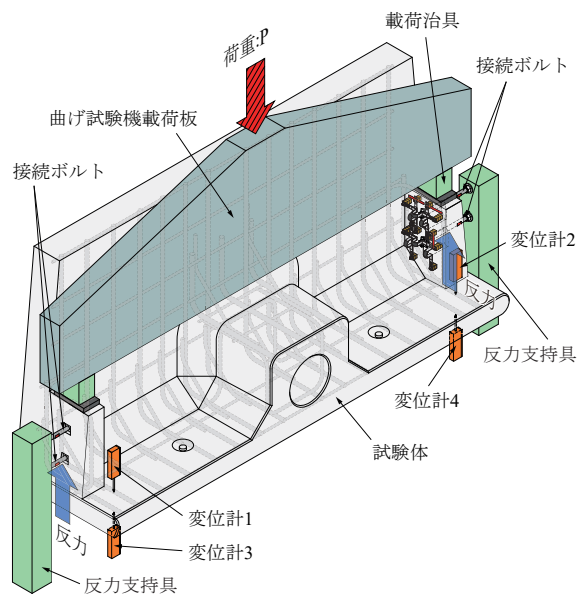


図-3 本体耐力実験の荷重位置

筋応力の推移を計測した。

(2) 接続部耐力実験

接続部耐力実験では、P Ca ガードレール基礎の接続部が衝撃荷重を受けた時の耐力性能（コンクリートひび割れおよび縁応力、内部鉄筋応力、ボルトの引張応力）を確認するため、図-4 の様に、90 度傾けた試験体を接続部耐力実験用反力支持具に接続ボルト M16（強度区分 10.9）にて両側 2 か所で固定した。また、接続部に直接荷重が荷重できるように載荷板の下に左右 2 か所の接続部に載荷治具を設置して実験を行った。載荷荷重および載荷ステップは、本体耐力実験と同様にした。



図－４ 接続部耐力実験の荷重位置

表－２ 本体耐力実験の計測項目，計測方法

計測項目	計測方法	計測箇所
荷重	曲げ試験機	1
変位	変位計	4
ひび割れ幅	パイ型変位計	6
コンクリートひずみ	ひずみゲージ	9
鉄筋ひずみ	ひずみゲージ	7

表－３ 接続部耐力実験の計測項目，計測方法

計測項目	計測方法	計測箇所
荷重	曲げ試験機	1
変位	変位計	4
ひび割れ幅	パイ型変位計	8
コンクリートひずみ	ひずみゲージ	6
鉄筋ひずみ	ひずみゲージ	10
接続ボルトひずみ	ひずみゲージ	4

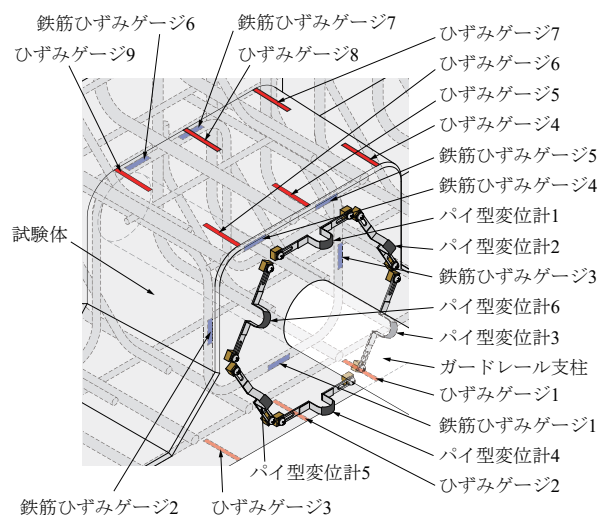
2.5 計測内容

(1) 本体耐力実験

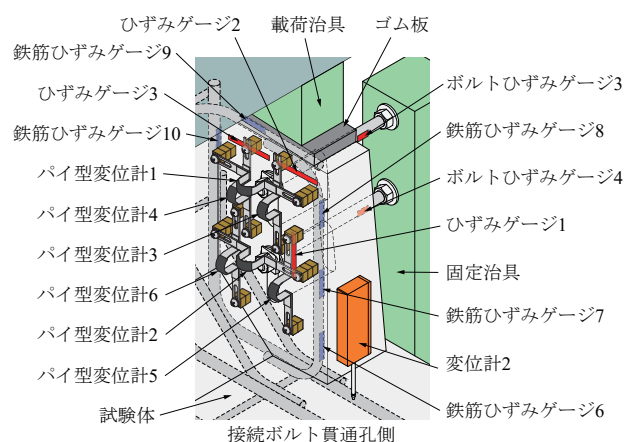
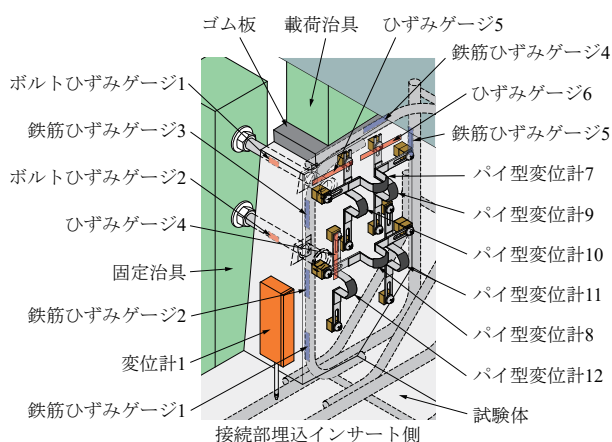
試験体の変位は，変位計を用い，ひび割れ幅は，パイ型変位計を用いて計測した。コンクリートのひずみは，ガードレール支柱取り付け部周辺に周長が 50mm のひずみゲージを用いて，鉄筋のひずみは，支柱取り付け部の鉄筋に 5mm のひずみゲージを用い，計測した。載荷時における計測項目及び計測方法については，表－２ に示し，計測位置については，図－５ に示す。

(2) 接続部耐力実験

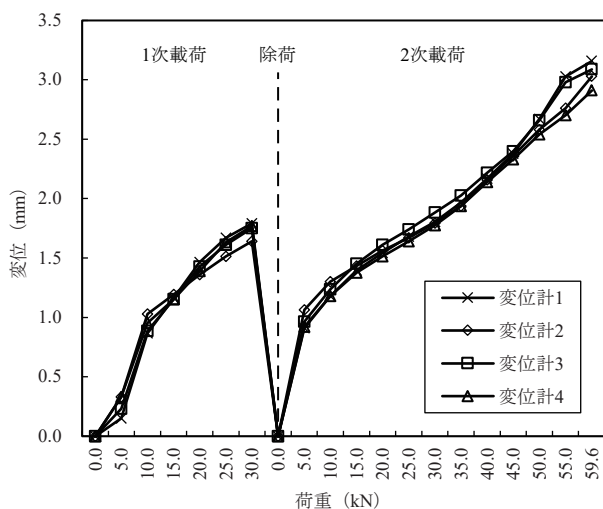
接続部耐力実験の計測項目及び方法は，本体耐力実験と同様にし，接続ボルトにも 5mm のひずみゲージを用いて計測した。載荷時における計測項目及び計測方法については，表－３ に示し，計測位置については，図－６ に示す。



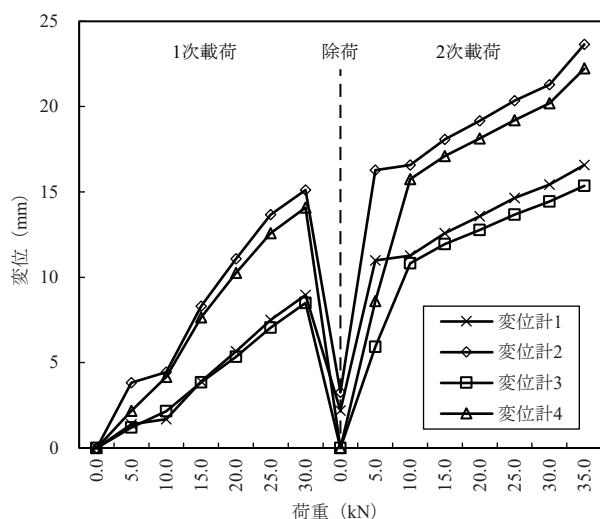
図－５ 本体耐力実験の計測位置



図－６ 接続部耐力実験の計測位置



図－7 本体耐力実験の変位量



図－8 接続部耐力実験の変位量

3. 実験結果と考察

3.1 変位量

本体耐力実験の荷重と試験体変位量の関係を図－7 に、接続部耐力実験の荷重と試験体変位量の関係を図－8 に示す。本体耐力実験における衝撃荷重 (30.0kN) で計測したすべての点での変位が最大 1.79mm、最終荷重で最大 3.16mm の変位量であった。また接続部耐力実験の衝撃荷重 (30.0kN) で最大値 15.12mm、最終荷重で最大値 23.65mm の変位量であった。両実験とも、荷重毎の変位量の差は少ない結果であるため、荷重に対して試験体壁部は均等に変形していることが確認された。

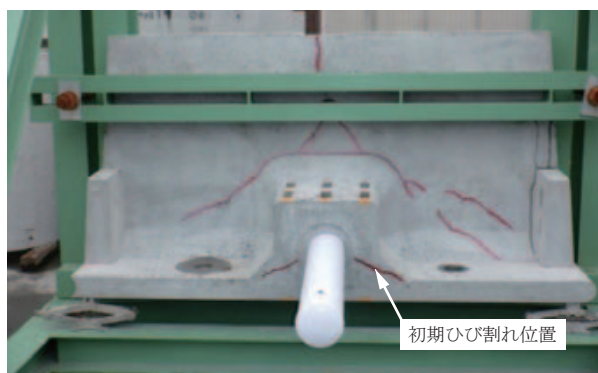
3.2 ひび割れ発生荷重及び最大荷重のひび割れ幅

本体耐力実験と接続部耐力実験のひび割れ発生荷重、ひび割れ幅と最大荷重の結果を表－4 に示す。

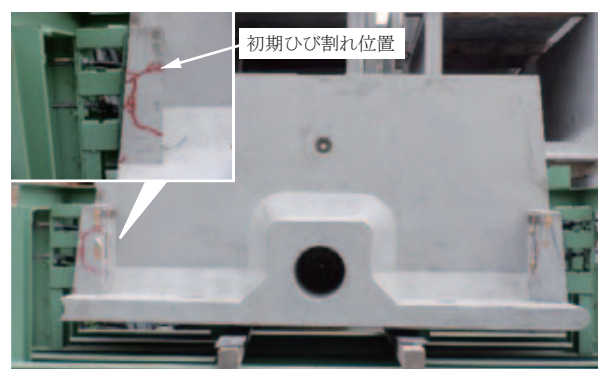
本体耐力実験および接続部耐力実験において、衝撃荷重 (30kN) 時におけるひび割れは発生しなかった。本体耐力実験における初期ひび割れの発生は、写真－1 に示

表－4 ひび割れ発生荷重、ひび割れ幅、最大荷重

本体耐力実験		
項 目	ひび割れ発生時	最大荷重時
荷 重	50.0kN	59.6kN
ひび割れ箇所	ガードレール支柱埋込部周辺	
ひび割れ幅	0.051mm	0.295mm
許容ひび割れ幅	0.3mm	—
接続部耐力実験		
項 目	ひび割れ発生時	最大荷重時
荷 重	35.0kN	42.2kN
ひび割れ箇所	接続部埋込みインサート周辺	
ひび割れ幅	0.013mm	0.180mm
許容ひび割れ幅	0.3mm	—



写真－1 本体耐力実験の試験体破壊状況



写真－2 接続部耐力実験の試験体破壊状況

す様に、ガードレール支柱埋込部周辺で発生した。その時の荷重は、二次載荷時の 50.0kN であった。初期ひび割れ幅も 0.056mm と微細なものであり、許容ひび割れ幅 (0.3mm) 以内であった。載荷を継続していくと、荷重を載荷しているガードレール支柱の根元部分で曲げによる降伏が始まり、荷重が載荷できない状態となり、実験が終了した。その時の荷重 (59.6kN) を実験の最大荷重とした。この最大荷重は、衝撃荷重 (30.0kN) の 1.98 倍の耐力であり、その時のひび割れ幅も 0.295mm あった。最大荷重時におけるひび割れ幅は、許容ひび割れ幅以内であった。

接続部耐力実験では、初期ひび割れの発生も、写真－2 に示す様に、二次載荷時の 35.0kN で接続部埋込みイン

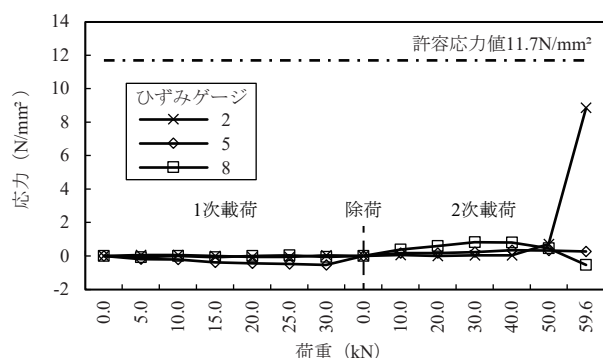


図-9 本体耐力実験のコンクリート縁応力

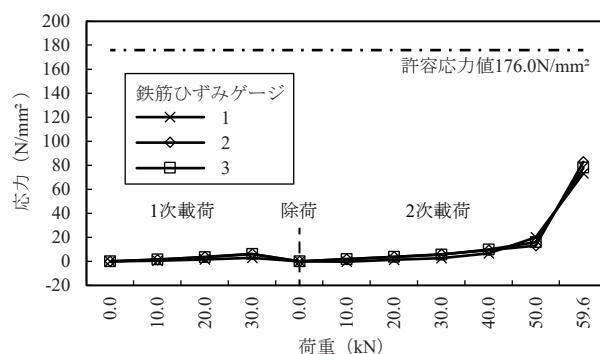


図-11 本体耐力実験の内部鉄筋の引張応力

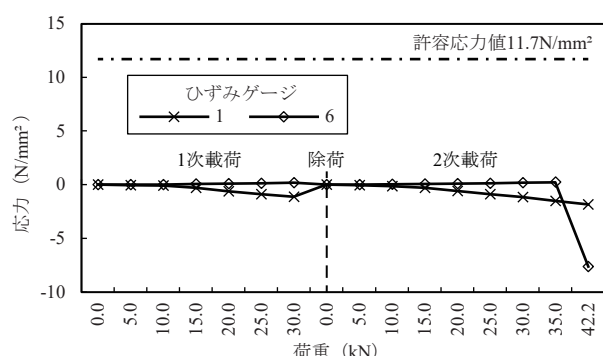


図-10 接続部耐力実験のコンクリート縁応力

サート周辺に発生し、ひび割れ幅も 0.009mm と微細なものであり、許容ひび割れ以下であった。最大荷重は 42.2kN で、接続ボルトが変形を始め、荷重の載荷ができない状態になり、実験が終了した。その時の荷重(42.2kN)を実験の最大荷重とした。その時の最大荷重は、衝突荷重(30.0kN)の 1.41 倍の耐力であり、その時のひび割れ幅も 0.180mm であった。最大荷重におけるひび割れ幅は、許容ひび割れ幅の約 1.66 倍であった。

3.3 コンクリート縁応力

本体耐力実験で計測されたコンクリートひずみをコンクリート縁応力に換算して、一次载荷、二次载荷、最大荷重時における最大値を示した測定箇所を図-9 に示し、接続部耐力実験も同様に図-10 に示す。

本体耐力実験のコンクリート縁応力は、一次载荷時では、内側の中央上部分(ひずみゲージ 5)で最大応力 0.54 N/mm²を示し、二次载荷時の衝突荷重(30.0 kN)でもガードレール支柱埋込部の内側中央部(ひずみゲージ 8)で、最大縁応力 0.82N/mm²を示し、最大荷重時でも壁部表側の中央部(ひずみゲージ 2)で最大応力 8.55N/mm²を示した。この実験試験体の設計基準強度($f'_{ck} = 35.0\text{N/mm}^2$)であるため、コンクリート標準示方書²⁾より、コンクリート許容圧縮応力(σ_{ca})は、 $\sigma_{ca} = f'_{ck} / 3 = 11.7\text{N/mm}^2$ であり、すべての荷重において、この実験で計測したコンクリート縁応力は、最もコンクリート縁応力が大きな箇所でも許容圧縮応力の 73.1%であった。

接続部耐力実験のコンクリート縁応力でも、一次载荷時では、ボルト貫通穴中央部分(ひずみゲージ 1)で最大応力 1.13N/mm²を示し、二次载荷の衝突荷重時でも、一次载荷と同じ位置(ひずみゲージ 1)で最大応力 1.16N/mm²を示し、二次载荷時のコンクリート縁応力は、許容圧縮応力(11.7 N/mm²)の 9.9%であった。最大荷重時でも接続インサート下部(ひずみゲージ 6)において、最大応力 7.64N/mm²を示した。この時のコンクリート縁応力は、許容圧縮応力の 65.3%であった。

3.4 内部鉄筋の引張応力

本体耐力実験の内部鉄筋の荷重と引張応力の一次载荷、二次载荷、最大荷重時における最大値を示した測定箇所を図-11 に示し、接続部耐力実験も同様に図-12 に示す。

本体耐力実験の内部鉄筋の引張応力は、一次载荷時の荷重では、衝突荷重(30.0kN)载荷時に、ガードレール埋込部左側(鉄筋ひずみゲージ 2)の位置で、最大引張応力 6.23N/mm²を示し、二次载荷時の衝突荷重(30.0kN)载荷時に、一次载荷時と同じ位置で、最大引張応力 5.72 N/mm²を示した。最大荷重時でも同じ鉄筋で最大引張応力 82.99N/mm²を示した。コンクリート標準示方書²⁾より、内部鉄筋の許容引張応力(σ_{sa})は、176.0N/mm²であり、すべての荷重载荷時において、この実験で計測した鉄筋引張応力は、最も鉄筋引張応力が大きな箇所でも許容応力の 47.2%であった。

接続部耐力実験の内部鉄筋引張の応力は、一次载荷時の荷重では、衝突荷重(30.0kN)载荷時に、接続孔開口部の中央(鉄筋ひずみゲージ 7)の位置で、最大引張応力 2.69N/mm²を示し、二次载荷時の衝突荷重(30.0kN)载荷時に、一次载荷時と同じ位置で、最大引張応力 2.69 N/mm²を示し、許容引張応力であった。最大荷重(42.2kN)時は、接続穴開口部の中央(鉄筋ひずみゲージ 4)で最大引張応力 82.82N/mm²を示した。内部鉄筋の引張応力(σ_{sa})は、176.0N/mm²であり、すべての荷重载荷時において、この実験で計測した鉄筋引張応力は、最も鉄筋引張応力が大きな箇所でも許容応力の 47.1%であった。

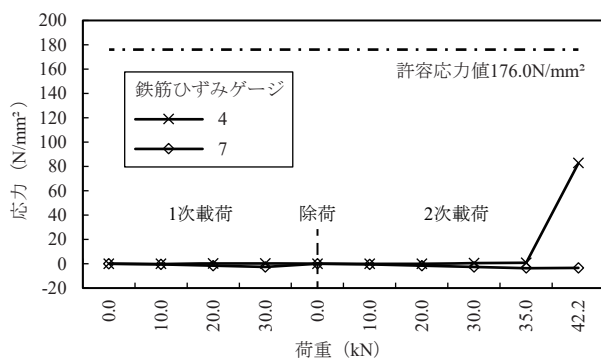


図-12 接続部力実験の内部鉄筋応力

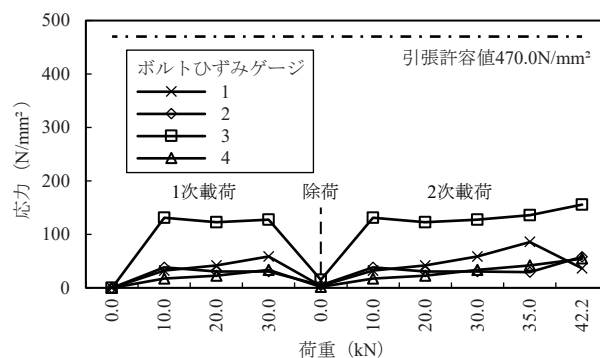


図-13 接続部力実験における接続ボルトの引張応力

3.5 接続部耐力実験における接続ボルトの引張応力

接続部耐力実験における荷重と接続ボルト引張応力の関係を図-13に示す。

一次載荷時の荷重では、衝突荷重（30.0kN）載荷の時に、接続孔開口部上側ボルト（ボルトひずみゲージ 3）の位置で、最大引張応力 127.1N/mm²を示し、二次載荷時の衝突荷重（30.0kN）載荷時に、一次載荷時と同じ位置で、最大引張応力 127.1N/mm²を示した。最大荷重（42.2kN）時は、同じ位置で最大引張応力 155.7N/mm²を示した。道路橋示方書・同解説⁵⁾より、接続ボルトの許容引張応力（ σ_{ba} ）は、470.0N/mm²であり、すべての荷重載荷時において、この実験で計測した接続ボルトの引張応力は、最もボルト引張応力が大きな箇所でも許容引張応力の 33.1%であった。

4. まとめ

本実験においては、ガードレール種別 B 種の基礎ブロックにおける衝突荷重において以下の知見が得られた。

本体耐力実験において、初期ひび割れは、二次載荷時の 50.0kN 時で発生し、ひび割れ幅が 0.051mm であった。このひび割れ幅は許容ひび割れ幅（0.3mm）以内であった。最大（終局）荷重も衝撃荷重時（30.0kN）に対し 2.0 倍以上の耐力を有することを確認した。

コンクリート縁応力は、一次載荷および二次載荷の衝突荷重時において、許容圧縮応力（11.7N/mm²）以内であり、最終荷重時においても最大のコンクリート縁応力は、許容圧縮応力の 75.6%であった。

内部鉄筋応力は、一次載荷および二次載荷時の衝突荷重時において、許容引張応力（176.0N/mm²）以内であり、最終荷重時においても最大の鉄筋引張応力は、許容引張応力の 47.2%であった。

接続部耐力実験においては、初期ひび割れは、二次載荷時の 35.0kN 時で発生し、ひび割れ幅が 0.013mm であった。このひび割れ幅は許容ひび割れ幅（0.3mm）以内であった。最大（終局）荷重も衝撃荷重（30.0kN）に対し

1.4 倍の耐力であった。

コンクリート縁応力は、一次載荷および二次載荷の衝突荷重時において、許容圧縮応力（11.7N/mm²）以内であり、最終荷重時においても最大のコンクリート縁応力は、許容圧縮応力の 7.6%であった。

内部鉄筋応力は、一次載荷および二次載荷の衝突荷重時において、許容引張応力（176.0N/mm²）以内であり、最終荷重時においても最大の鉄筋引張応力は、許容引張応力の 47.1%であった。

接続ボルトの引張応力は、一次載荷および二次載荷の衝突荷重時において、許容引張応力（470.0N/mm²）以内であり、最終荷重時においても最大の鉄筋引張応力は、許容引張応力の 33.1%であった。

このことから、本製品において本体耐力実験および、接続部耐力実験の性能とし、本製品が十分耐力を有することを確認した。

謝辞

本製品の設計から実験におきまして、カイエー共和コンクリート(株)、(株)武井工業所、(株)東京測器研究所の皆様のご協力を得ました。また、本実験は、茨城県コンクリート製品協同組合品質技術委員会の事業の下、茨城県中小企業団体中央会における助成金を活用させて頂き、実施致しました。ここに記して、深謝します。

参考文献

- 1) (公社) 日本道路協会：車両用防護柵標準仕様・同解説，p.133，2004.3
- 2) (公社) 日本道路協会：道路土工擁壁工指針 平成 24 年度版，pp.61-62，pp.79-81
- 3) (一社) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事，pp.195-196，2018
- 4) (公社) 土木学会：コンクリート標準示方書〔構造的な性能照査編〕付録 許容応力度法による設計，2002.3
- 5) (公社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（I 共通編），pp.148-150，2017.10