

報告 かとう機能を有するプレキャストコンクリート製ボックスカルバートの開発

松山 哲也^{*1}・矢田部 龍一^{*2}・長友 克寛^{*3}・右近 雄大^{*4}

要旨：従来のプレキャストコンクリート製ボックスカルバートの継手は PC 鋼材または連結ボルトを使用していた。しかし、地震等により地盤変形が生じた場合の変形追従性能は必ずしも十分ではなかった。継手の変形性能の向上を目的として、連結ボルトに緩衝材を取り付けた継手を提案した。本継手を実物のボックスカルバートに使用して曲げ実験および引張実験を行った。そして、ボックスカルバートに使用した場合の、継手の応力および変形量を確認した。その結果、本継手が所定の変形性能を有することを確認した。

キーワード：ボックスカルバート, 地盤変形, 継手, 緩衝材

1. はじめに

近年、現場施工の省力化等を目的として、プレキャストコンクリート製ボックスカルバート（以下 PCaBOX）が多く使用されている。これらの PCaBOX は、南海地震等の巨大地震への対応が求められている。また、軟弱地盤に設置される場合は、地盤沈下への対応も求められている。このように、地震および地盤沈下等により地盤が変形した場合、ボックスカルバートは地盤変形の影響を受けて変形することが、これまでの経験で知られている¹⁾。そのため、ボックスカルバートは変形する地盤に追従することが必要である。しかし、従来の PCaBOX は、PC 鋼材または連結ボルトで連結されているため変形性能が十分ではなかった。また、共同溝等で多くの実績を有する、かとう性継手は高性能であるが高価であった。そのため、従来よりも安価で高性能な継手の開発が必要とされていた。そこで、従来から使用している連結ボルトに、変形性能を有する緩衝材を取り付けた継手を使用することとした。そして、この継手が、曲げおよび引張に対して緩衝機能および変形性能を有す

ることが課題であった。地盤変形を受ける PCaBOX の縦方向の設計計算では、カルバート本体を梁、継手をバネとして考える。そして、地盤変形に追従してカルバートが変形し、その結果発生する曲げモーメント（水平、鉛直）および軸力に対して個別に検討を行う²⁾。

本研究では、この継手の性能確認のために実製品を使用して、曲げ実験および引張実験を行った結果を報告する。また、緩衝材の圧縮試験の結果も報告する。

2. 実験概要

2.1 継手実験概要

2.1.1 目的

本継手を用いたボックスカルバートの変形性能を確認することを目的として、連結ボルトおよびコンクリートのひずみ、継手部の鉛直または水平変位を確認する実験を行った。前述のとおり、設計計算において検討する応力状態に従って、曲げおよび引張実験を行うこととした。

2.1.2 継手実験の試験体概要

試験体は、標準的なプレキャスト鉄筋コンク

*1 日本興業（株） 技術開発部 副部長（正会員）

*2 愛媛大学 工学部環境建設工学科 教授 工博

*3 高松高等工業専門学校 建設環境工学科 教授 工博（正会員）

*4 日本興業（株） 技術開発部 チーフ

リート製ボックスカルバート（以下 RCBOX）を使用する。形状寸法を表-1に示す。また、試験体の配筋を表-2および図-1に示す。配筋は、すべて複鉄筋とし、かぶりはすべて 35mm である。RCBOX を 2 個製作し、その 2 個を 4 本の連結材（=連結ボルト+緩衝材）で接合したものを、試験体 1 セットとした。試験体に使用した材料の諸元を表-3に示す。継手部形状は、図-2に示すとおり、凹凸形状である。そして、RCBOX 継手部の接触面の処理方法として、曲げ実験用試験体は無処理とした。また、引張実験用試験体は、同時に止水試験も行うため、接触面の内空側全周に、止水用コーキング材を幅 20mm、厚さ 20mm で施工した。

2.1.3 曲げ実験載荷方法

(1) 曲げ実験の載荷位置

載荷時のスパンは、試験体端部から 600mm の位置を支持点とし、2805mm とした。スパンおよび載荷位置を、図-3に示す。

表-1 試験体の形状寸法

呼び寸法	内幅 (mm)	内高 (mm)	有効長 (mm)	厚さ (mm)			ハンチ高 (mm)
				頂版	底版	側壁	
1000×1000	1000	1000	2000	130	130	130	150

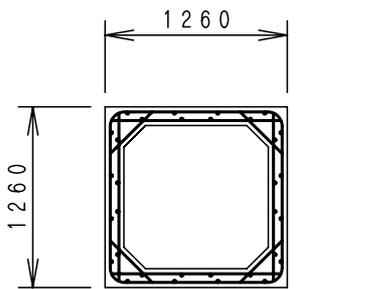


図-1 配筋図（横断方向）

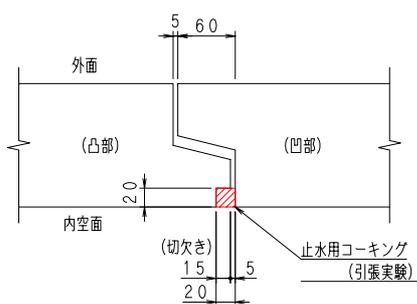


図-2 継手詳細図

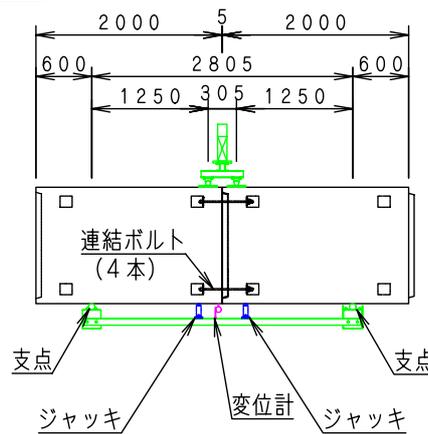
表-2 試験体の配筋

位置 項目	内側			外側	ハンチ	配力筋
	頂版	底版	側壁			
鉄筋呼び名	D13	D13 D10	D10	D10	D10	D10
間隔(mm)	125	125	125	125	250	250

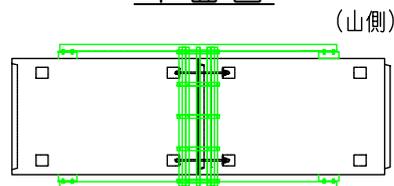
表-3 使用材料の諸元

コンクリート				
粗骨材の最大寸法 (mm)	水セメント比 (%)	養生方法	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (G Pa)
20	41	蒸気	42.1	18.3
連結ボルト				
材質	呼び名	長さ (mm)	引張強さ (N/mm ²)	ヤング係数 (G Pa)
SUS304	M12	600	520	193
緩衝材				
材質	部材厚 (mm)	幅 (mm)	高さ (mm)	長さ (mm)
SUS304	2	50	25	60

側面図（断面図）



平面図



断面図

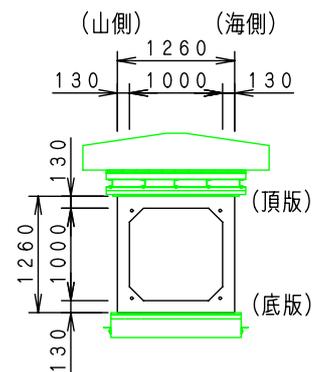


図-3 曲げ実験概要図

(2) 載荷方法

継手部の沈下により継手部が開くのを防ぐために、4個の油圧ジャッキを使用して、継手部を支持した。次に、ジャッキの油圧を下げて、自重を載荷した。そして、底版側の緩衝材が降伏する荷重まで載荷し、除荷した。ここでいう降伏とは、緩衝材が圧縮力を受けて塑性変形する状態を表し、**図-10** および**写真-1** での(3)の状態である。

(3) 計測内容

載荷時における各計測項目と方法および計測点数を、**表-4** に示す。変位計は、鉛直変位を測定するために、中央2箇所と支点2箇所とした。引張縁として底版側2本の連結ボルトのひずみ計測位置を、**図-4** に示す。圧縮縁として頂版側2本の連結ボルトは、1本につき計測位置を2箇所とした。コンクリートのひずみ計測位置は、すべて側壁外側とし、圧縮縁として頂版側4箇所、引張縁として底版側2ヶ所とした。

2.1.4 引張実験載荷方法

(1) 引張実験の載荷位置

引張実験は、継手部を開かすため、試験体を延長方向へ引張る。したがって、側壁外側に2

台の油圧ジャッキを取付け、試験体の片側を固定状態とし、反対側を可動状態にする。載荷位置を、**図-5** に示す。

表-4 計測項目, 方法, 箇所数

計測項目	計測方法	計測点数
鉛直変位	ダイヤルゲージ	4
連結ボルトのひずみ	ひずみゲージ	16
コンクリートのひずみ	ひずみゲージ	6

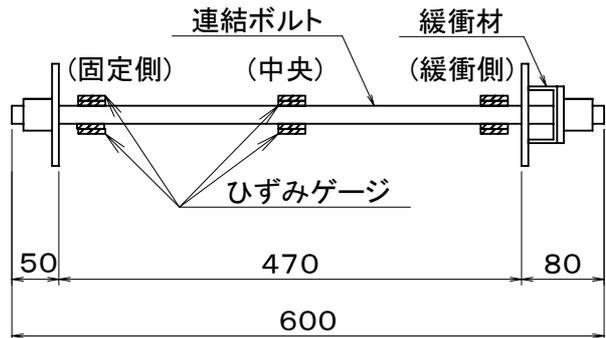


図-4 連結ボルトのひずみ計測位置

(2) 載荷方法

頂版および底版側の緩衝材が降伏する荷重まで載荷した。さらに、継手部の水平変位が20mmに達する荷重まで載荷し、除荷した。

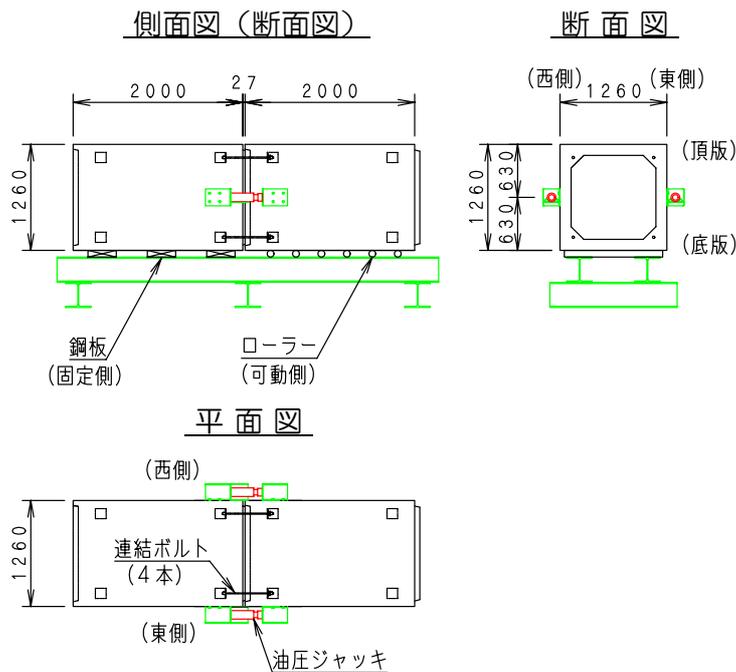


図-5 引張実験概要図

(3) 計測内容

変位計は、継手部の開き量を水平変位として計測するため、側壁外側に上下4箇所とした。連結ボルトのひずみ計測位置を、図-4に示す。頂版側および底版側、各2本ずつ合計4本で24箇所とした。

2.2 緩衝材の実験概要

2.2.1 目的

緩衝材の変形性能を確認することを目的として、緩衝材の弾性域および塑性域を確認する実験を行った。

2.2.2 試験体概要

試験体は、ナット、支圧板2枚および緩衝材を1セットとした。表-3に緩衝材の諸元を示す。

2.2.3 載荷方法および計測内容

緩衝材が降伏する荷重まで載荷し、一度降下した荷重が、再び降伏した荷重と同程度の荷重になるまで載荷し、除荷した。

3. 試験結果と考察

3.1 継手の曲げ実験

継手中央部の鉛直変位を図-6に示す。荷重の増加に比例して継手部の変位が増加している。そして、荷重が58kNの時に緩衝材が降伏した。緩衝材の降伏により、変位が9.4mm増加した。連結ボルト1本毎の平均ひずみを図-7に示す。以下、連結ボルトのひずみはすべて引張であったため、引張を正とする。頂版側の連結ボルト2本の4箇所の平均ひずみは、緩衝材が降伏するまでは、山側の連結ボルトはわずかしか増加しなかった。また、同様の状態に至るまで、海側の連結ボルトは、荷重にほぼ比例して増加した。そして、緩衝材の降伏によりひずみは、125 μ から843 μ へ約700 μ 増加した。また、底版側の連結ボルト2本の12箇所の平均ひずみは、緩衝材が降伏するまでは荷重にほぼ比例して増加した。そして、緩衝材の降伏によりひずみは、804 μ から685 μ へ約120 μ 減少した。これら海側と山側

のひずみの差異は、試験体の継手部の接触面が上下および左右方向に均一でないため、曲げ変形が左右非対称になっているのが原因と思われる³⁾。

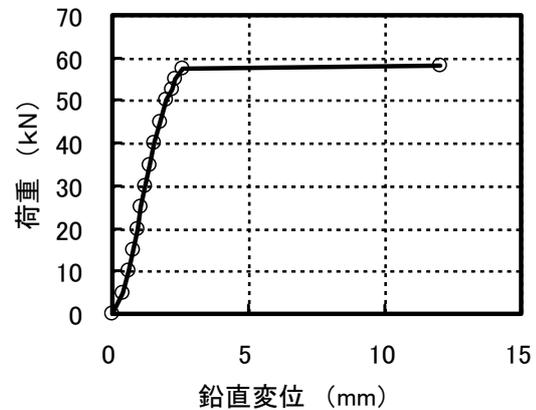


図-6 継手中央部の鉛直変位

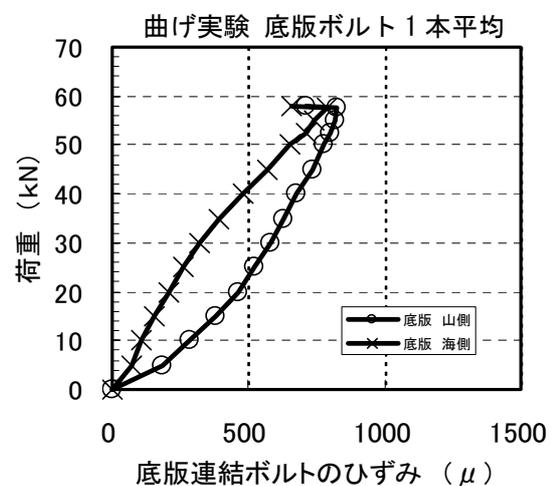
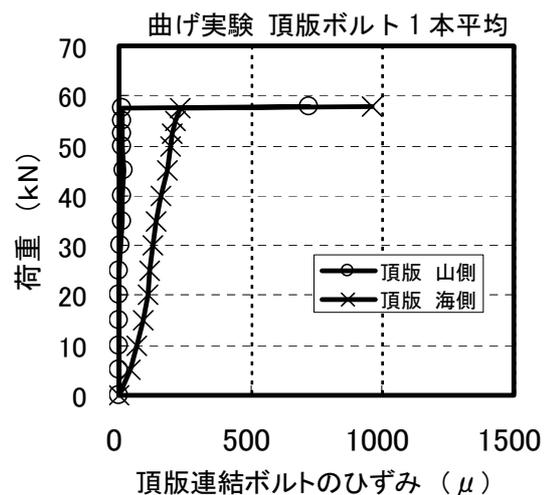


図-7 連結ボルトのひずみ

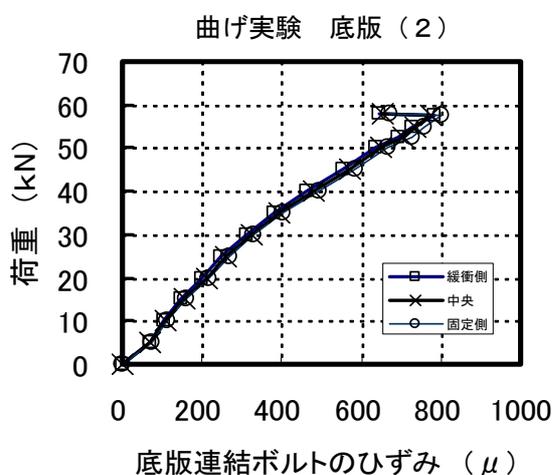
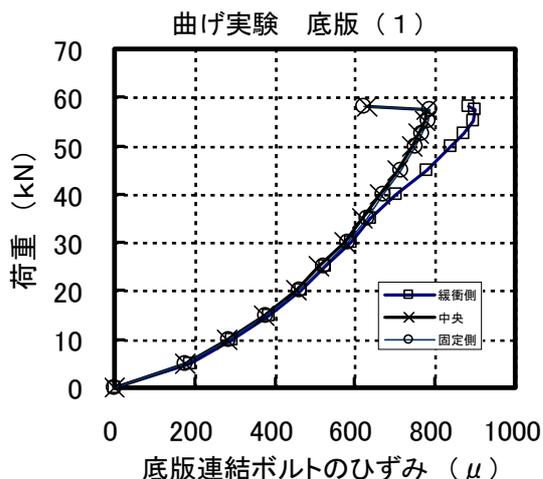


図-8 連結ボルトのひずみ

次に、底版側連結ボルト1本における3箇所
のひずみを図-8に示す。これによれば、3箇所
とも荷重の増加に比例してひずみが増加して
おり、連結ボルトの長さ方向3箇所のひずみ
はほぼ同じであることがわかる。図-3で
示す試験体の支点2箇所は、完全な可動状態
でないため、摩擦が発生した。載荷装置重量、
試験体自重、載荷荷重および連結ボルトの
引張力による曲げモーメントの釣り合いから
求めた支点の摩擦係数は約0.27であった。

コンクリートのひずみは、すべて10μ以下
であり、今回計測した位置においては、応力
はほとんど発生していなかった。また、継手
部周辺のコンクリートにひび割れ等の異常は
見られなかった。

3.2 継手の引張実験

継手部の水平変位と連結ボルトのひずみの
関係を図-9に示す。これによれば、変位の
増加にほぼ比例して、ひずみが増加してい
る。そして、変位が6mmで緩衝材が降伏し、
ひずみが減少している。緩衝材の降伏後に
ひずみが増加した頂版東側は、ゲージ6箇
所中3箇所が断線したため、3箇所の平均
値である。その他はすべて、6箇所の平
均値である。変位が6mmから9mmまでは、
緩衝材の変形が進行するため、連結ボルト
のひずみは少しずつ減少している。

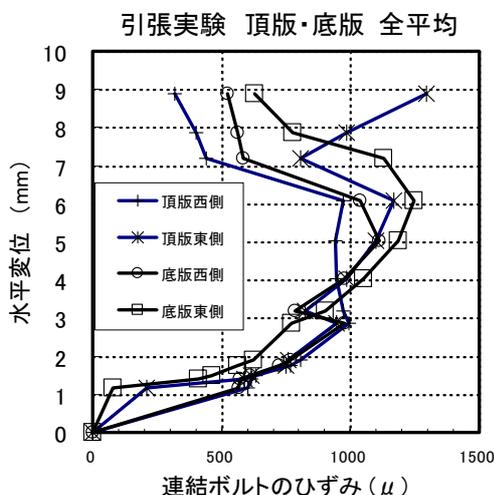


図-9 水平変位と連結ボルトのひずみ

3.3 緩衝材の圧縮試験

緩衝材の変位を、図-10に示す。また、
緩衝材の変形状況を写真-1に示す。なお、
図-10および写真-1の(1)から(4)は、
変形状況を示す。(1)は、載荷前の状態
を示す。(2)は、弾性変形状態、(3)は
塑性変形状態(降伏)を示す。(4)は、
緩衝材が降伏した荷重と同等の荷重を載
荷した状態である。この緩衝材は、載荷
荷重が約28kNで降伏した。また、降伏
開始時の変位量は、約3mmであった。

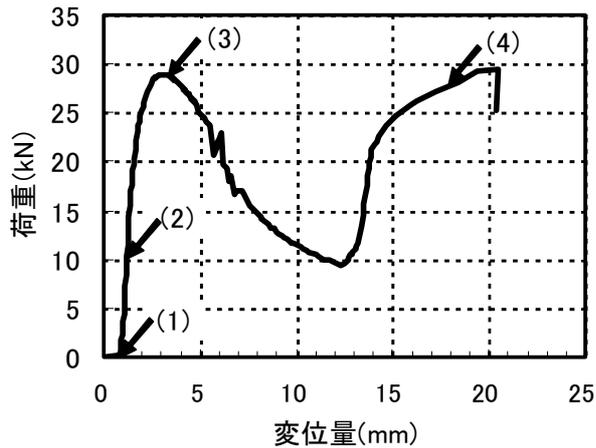


図-10 緩衝材の変位

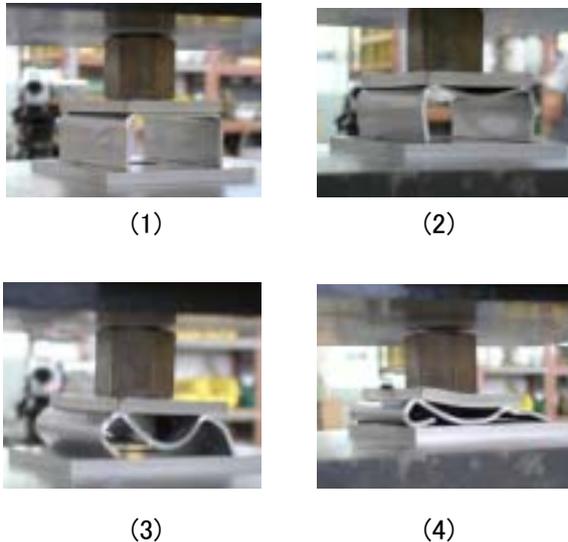


写真-1 緩衝材の圧縮試験

4. まとめ

PCa ボックスカルバートの継手に、連結ボルトと緩衝材を組み合わせたものを使用して、地盤の変形に追従する製品を開発した。その工法の基盤要素である変形追従型継手の性能を、実物 RCBOX を作製して実験的に検討した。また、継手に使用する緩衝材の圧縮試験も実施した。本研究で次のことが明らかになった。

- 1) 地震時など、瞬間的に大きい外力が作用する場合、継手に応力が集中する。その際、連

結ボルトに作用する応力を低減する方法として、降伏変形する緩衝材が有効である。降伏強度の異なる緩衝材と連結ボルトを組み合わせることにより、連結ボルトに作用する引張力を変えることが可能である。

- 2) 緩衝材を使用した継手の場合、緩衝材は、一定荷重までは弾性変形する。そして、降伏荷重を超えると、緩衝材は降伏変形する。その後、降伏変形が終了すると、再び荷重が増加し、降伏荷重と同等の荷重まで上昇する。また、緩衝材は、降伏直後から 15mm 以上の変形性能を有している。

- 3) RCBOX に曲げが作用した場合、引張縁である底版側の継手は曲げの増加に比例してひずみが増加する。そして、底版側の緩衝材が降伏するとひずみは減少する。また、圧縮縁である頂版側の継手も同様に、曲げの増加に比例してひずみが増加する。しかし、底版側の緩衝材が降伏すると継手の変形が大きくなるため、ひずみは増加する。

今後、RCBOX への本継手の適用を確立するために、別の形状の緩衝材を使用した実験や継手部のコンクリートひずみの追加計測を行って、設計法の検証を進めたいと考えている。

参考文献

- 1) 川島一彦：地下構造物の耐震設計，鹿島出版会，pp.6-10，1994
- 2) 下水道施設の耐震対策指針と解説，日本下水道協会，pp.29-60，1997 版
- 3) 本田智昭，古市耕輔，吉田健太郎，中川雅由：プレキャスト部材の突合せ接合についての力学挙動に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol27，No.3，PP607-612，2005