

(72) ボックスジベルを用いた合成桁の合成評価

(株)ピー・エス 正会員○久野公德
 (株)奥村組 城 隆史
 九州大学大学院 正会員 松下博通

1. はじめに

近年、交通量の増大・車両の大型化による荷重増に伴い既設の鋼道路橋のコンクリート床版の損傷劣化事例が多々見受けられる。床版コンクリートの全面打換え工法として、交通阻害を最小にし、迅速かつ安全な施工が可能となるコンクリート床版工事および新設鋼道路橋の床版工事において、現場作業の簡略化、床版構造特性の改善、工期の短縮などの目的でプレキャストコンクリート床版の採用が進んでいる昨今である。

ここで、プレキャストコンクリート床版を鋼桁と結合する場合のずれ止めには、スタッドジベルを適用する施工が一般的に行われているのが現状である。

しかし、プレキャストコンクリート床版を鋼桁と結合する際に、床版高さの不陸調整作業に多くの労を費やしている。そこで、本研究ではねじ式により不陸調整が容易に行え、鋼桁との結合を溶接により保持することのできる新しい形式のジベル(以下、ボックスジベル)の開発をし、本ジベルを適用した合成桁モデル供試体(3タイプ)を作製し、静的載荷試験を実施することにより、その合成効果を床版と鋼桁の相対ずれ量より検討を加えた。さらに、弾性合成桁の考えに基づいた解析結果と実験結果とを比較し、ボックスジベルのずれ止めとしての合成機能の評価・検討結果について報告するものである。

2. ボックスジベルの構造

新たに開発したボックスジベルは、写真-1に示す形状のもので、あらかじめプレキャストコンクリート床版内に埋設固定される外筒部と鋼桁に溶接結合される内筒部とをねじ式により一体化する構造となっている。なお、ボックスジベルを適用した鋼橋の構造概念および本ジベルの一般的な形状寸法を図-1および図-2に示す。ここに、ボックスジベルのせん断力の伝達機構をスタッドジベルおよびボルト締め結合法と比較し示すと図-3のとおりである。

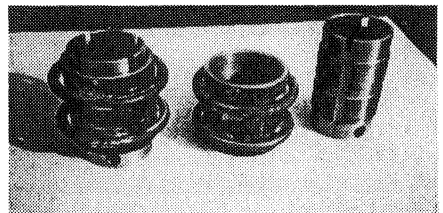


写真-1 ボックスジベル

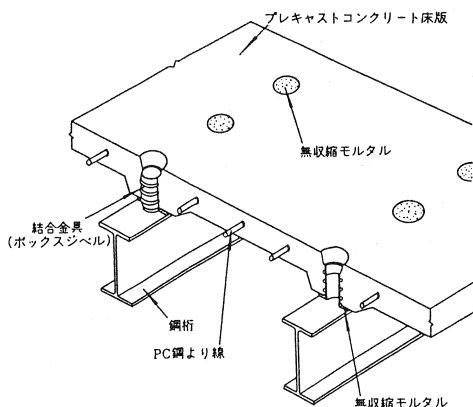


図-1 ボックスジベルを用いた構造の概念

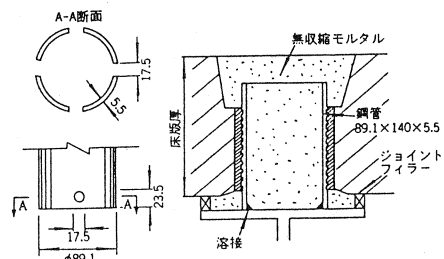


図-2 ボックスジベルの形状及び結合方法(単位mm)

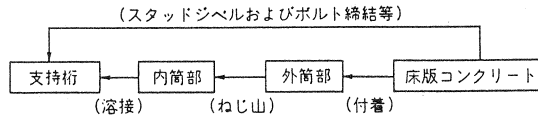


図-3 ジベルのせん断力の伝達方法

3. 試験供試体および荷荷方法

本実験ではボックスジベルの配置位置の相違による合成効果の違いを確認する目的で、TYPE1~3の3種類の合成試験桁を作製し、2点荷荷法による静的荷荷試験を実施した。なお、本実験においては、ボックスジベルとの比較のため、従来から用いられているスタッドジベルを適用した合成試験桁を作製し、荷荷試験を合わせて行った。

ここに、合成試験桁の供試体の形状寸法および荷荷位置を図-4に示す。なお、合成試験桁は、鋼桁にJIS規格品のH形鋼(300×305×15×15)を用い、コンクリート床版には設計基準強度50N/mm²の配合のコンクリートを使用するとともにコンクリート床版と鋼桁との間に無収縮モルタルを充填し、ジベルにて結合一体化を図った構造となっている。ここに、試験桁に使用した床版コンクリートの配合とそのコンクリートおよび無収縮モルタルの性質を示すと表-1、2のとおりである。

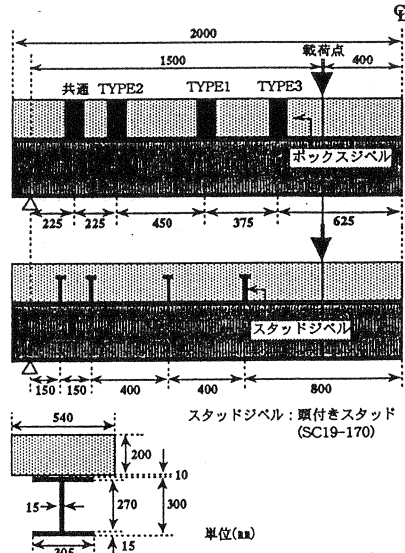


図-4 合成桁モデル供試体概略図

表-1 コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	目標スランプ (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤
20	8±1.5	3±1.0	39	40.8	160	410	718	1069	2.87

表-2 コンクリート及び無収縮モルタルの性質

	比重	圧縮強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 (kgf/cm ²)
コンクリート	2.32	634	3.10×10 ⁵
無収縮モルタル	2.18	408	

また、ジベルの使用本数はスパン直角方向にボックスジベルは1本、これに対しスタッドジベルは3本を配置している。これは、ボックスジベルおよびスタッドジベル使用合成試験桁のジベル耐力を同等にするためである。

次に、合成試験桁の静的荷荷試験方法は、2点荷荷による曲げせん断試験方法にて行い、その荷重履歴はジベル位置のずれ量のいずれかが特定の値(ずれ量: 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.5, 1.0, 3.0, 5.0mm)に到達すると除荷を行う繰り返し荷荷法とした。

測定項目は、載荷重による桁のたわみ量とコンクリート床版と鋼桁とのずれ量を変位計による計測を図-5に示す測点で実施した。

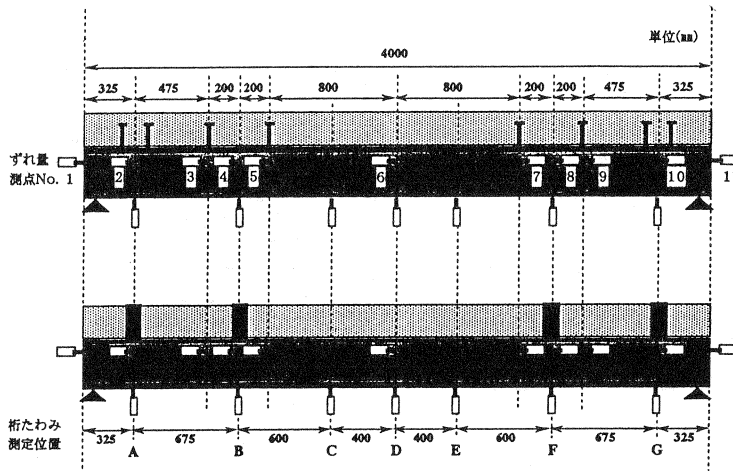


図-5 変位計設置位置(スタッド供試体・TYPE1供試体)

4. 実験結果および考察

ここに、各合成試験桁において断面のひずみ分布が直線で、平面保持が成立しており、鋼桁とコンクリート床版との相対ずれが、ずれ限界以内の荷重段階である載荷荷重250kN作用時でのずれ量分布を図-6に示す。

これらずれ量分布より、TYPE2,3試験桁ではスタッドおよびTYPE1試験桁に比べずれ量が大きく、せん断剛性は小さくなっている。

また、ボックスジベルを用いたTYPE1~3試験桁では、いずれもボックスジベルのずれ量は0.3mmのずれ限界値以内であり、250kN載荷荷重作用時でのボックスジベルは弾性的挙動の範囲内にあると考えられる。

ここに、250kN載荷荷重作用時のコンクリートに作用する軸力分布を図-7に示す。なお、図中のNomaxは完全合成の場合の軸力の最大値であり、Cは弾性合成桁と考えた場合の弾性結合バネ定数で、桁断面のつり合いおよび変形条件より成り立つ以下の微分方程式を解き求める。

$$\frac{d^2 N}{dx^2} - \omega^2 N = -\mu M$$

ここで

$$\omega^2 = \frac{n I v}{I c + n I s} \cdot \frac{C}{E c A c} \cdot \frac{a}{a_c}$$

$$\mu = \frac{a}{E c (I c + n I s)} \cdot C$$

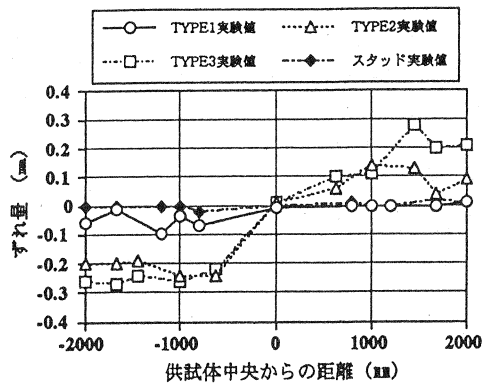


図-6 相対ずれ量の分布(250kN載荷時)

C : バネ定数 (作用せん断力と相対ずれ量の成立する定数 (ジベルのせん断剛性))

Iv : 鋼桁に換算した合成断面の断面二次モーメント

Ic : コンクリートの断面二次モーメント

Is : 鋼桁の断面二次モーメント

n : コンクリートと鋼桁のヤング係数比

Ec : コンクリートのヤング係数

Ac : コンクリートの断面積

a : コンクリートと鋼桁の図心間距離

a_c : コンクリートと合成断面の図心間距離

M : 外力による作用モーメント

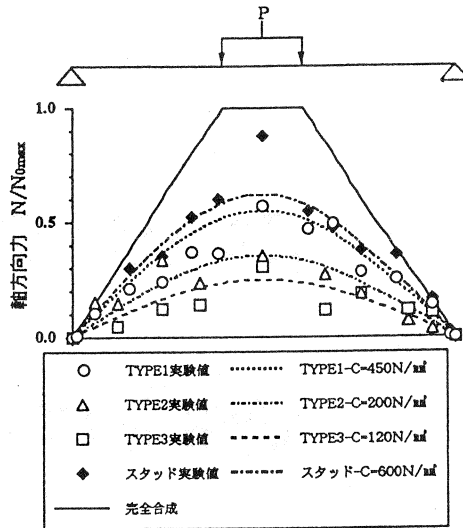


図-7 軸方向力Nの分布 (250kN載荷時)

図-7より、スタッド供試体とボックス供試体とを比較すると以下のことがいえる。

- 1) TYPE1試験桁における合成効果はスタッドジベル試験桁と大きな差異は認められなかった。
- 2) TYPE2,3試験桁では、TYPE1およびスタッドジベル試験桁より小さなバネ定数値を示した。
- 3) 図中に示すバネ定数 (C) の値は、ボックスジベル1本あたりバネ定数ではなく、桁全体に均等にずれ止めを配置した仮定上の値であることを考慮し、ボックスジベルの配置位置の相違に着目すると、TYPE1が最もせん断剛性が高く、TYPE2,3の両者はTYPE1より低いせん断剛性結果となった。
- 4) ボックスジベルを使用する合成桁では、桁端部集中配置や極端に間隔を広げ配置する場合と比べ、せん断力の作用区間に均等配置した場合の方が、ずれ止めとしての機能をより発揮すると考えられる。

ここで、載荷荷重とバネ定数の関係に着目すると、載荷荷重の増加に伴うバネ定数の低下は、すなわちジベルのせん断剛性の低下であり、桁とコンクリート床版の合成効果の低下を表すものである (図-8参照)。

また、載荷荷重とせん断剛性の関係を示すと図-9のとおりであり、いずれの供試体ともせん断剛性低下率の急変する点の存在が認められる。この変化点は、ジベルの押抜きせん断試験結果より得られたずれ量とほぼ一致している。

すなわち、ボックスジベル適用供試体では、鋼桁とコンクリート床版の相対ずれがずれ限界値 (0.3mm) とスタッドジベル供試体では、残留ずれ量が0.08mmに達する点と一致している。

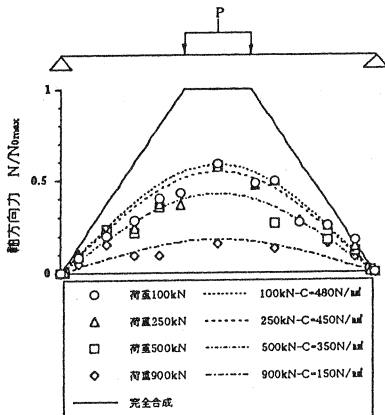


図-8 作用荷重別の軸力Nの分布 (TYPE1供試体)

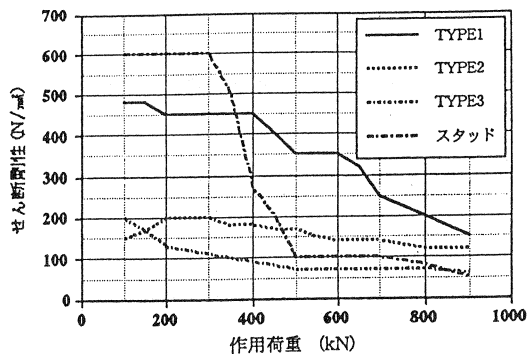


図-9 作用荷重とせん断剛性の関係

次に、押抜きせん断試験結果より得られた1本あたりのボックスジベルのせん断剛性の値を本ジベルのせん断力に抵抗する区間(ボックスジベル1本あたりの守備区間:300mm)に代入し、弾性合成桁理論解析し、ボックスジベルのずれ限界に達するまでの軸方向力と計算値を対比すると、実験値は比較的計算値と良く一致した(図-10参照)。したがって、ボックスジベル適用合成桁では、本ジベルがずれ限界に達するまでは押抜きせん断試験により得られた結果の適用が可能であると評価できる。

また、スタッドジベル試験桁およびTYPE1試験桁のコンクリート床版と鋼桁のずれ性状について作用荷重とずれ量の測定結果を図-11,12に示す。その結果、ボックスジベルを適切な位置に配置することで、ボックスジベルのずれ限界荷重時まで、両試験桁に作用する荷重はほぼ等しくなりスタッドジベルを用いた場合と同等の合成効果を有するものと評価することができる。なお、各試験桁の支間中央における荷重～たわみ量の実測結果(図-13参照)より、ボックスジベル試験桁はスタッドジベル試験桁の荷重～たわみの関係はほぼ一致しており、両試験桁とも同様のたわみ挙動を示すことからボックスジベルはスタッドジベルと同等のずれ止め機能を有すると考えられる。

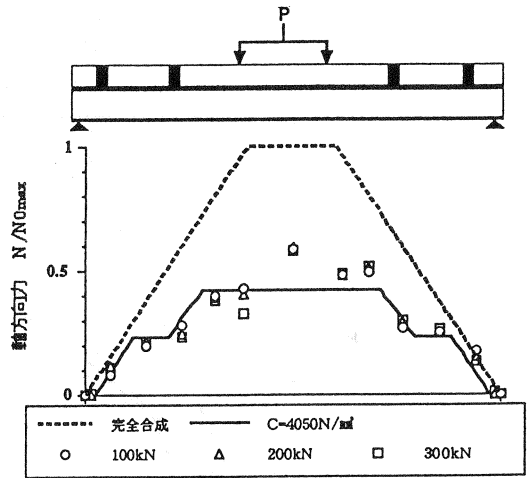


図-10 押抜きせん断試験結果との関係 (TYPE1 供試体)

図-11, 12: Graphs showing load (kN) vs. displacement (mm) for stud and TYPE1 test specimens. Both graphs show load increasing with displacement, with a peak load around 1000 kN. The stud specimen (Figure 11) shows a peak load of approximately 1000 kN at a displacement of about 1.5 mm. The TYPE1 specimen (Figure 12) shows a peak load of approximately 1000 kN at a displacement of about 1.5 mm. The graphs show that the load-displacement relationship is similar for both specimens, indicating comparable performance.

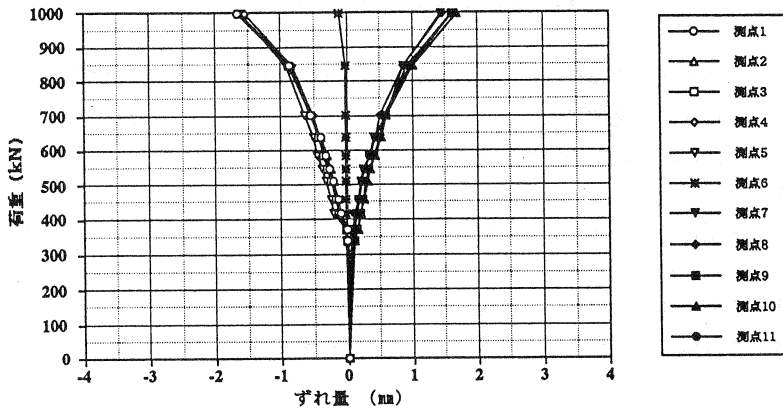


図-11 荷重-ずれ量曲線(スタッド供試体)

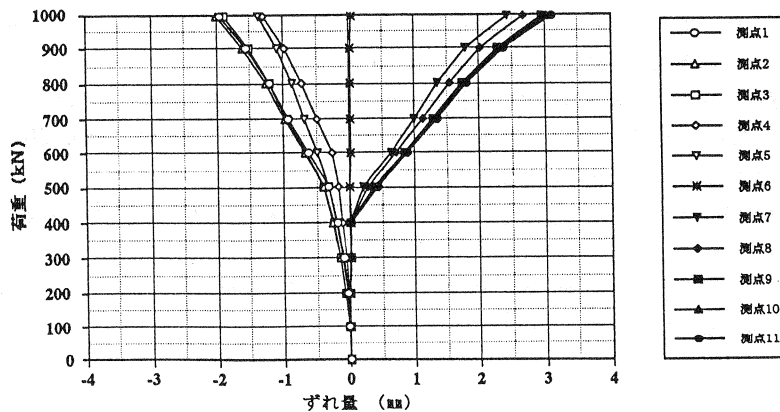


図-12 荷重-ずれ量曲線 (TYPE1 供試体)

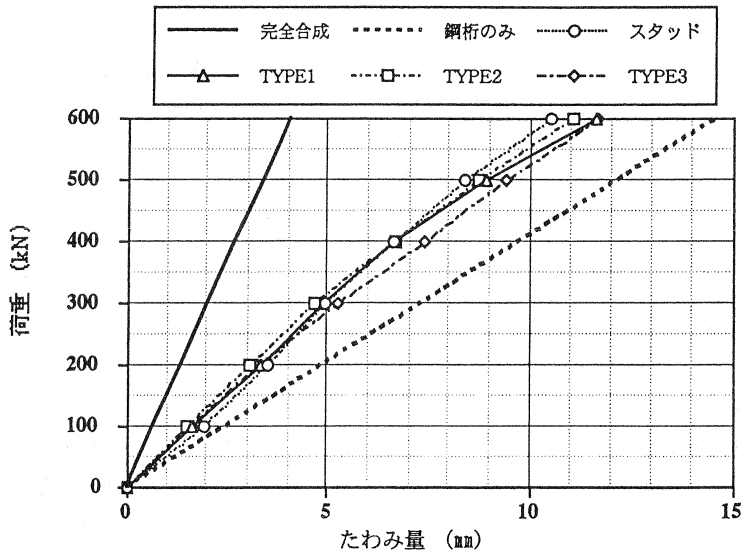


図-13 载荷加重と桁たわみ量の関係(支間中央)

5. まとめ

ボックスジベルのずれ止め機能を評価するため、弾性合成の考えに基づき、合成試験桁による実験結果と比較・検討を行い、合わせて押抜きせん断試験結果との整合性についても検討を行った結果、以下の知見が得られた。

- (1) ボックスジベルを用いる場合、その配置位置はせん断力が作用する区間に均等に配置すれば、ずれ止めとしての機能を十分発揮する。
- (2) ボックスジベルは、その配置位置を適切な位置に行うとスタッドジベルと同程度の合成効果を得ることができる。
- (3) ジベルのせん断剛性は、作用せん断力の増加に伴い低下するが、低下率が大きくなるのは、ジベルがずれ限界に達してからである。なお、ボックスジベルはスタッドジベルと比較して、鋼桁とコンクリート床版との相対ずれは大きいもの、高い合成効果を有している。
- (4) ボックスジベルはずれ限界に達する段階までは、押抜きせん断試験結果を合成桁に適用することができる。

[参考文献]

- 1) 城 隆史、松下博通、久野公德、大島基義：ボックスジベルの実用化に関する実験的研究、土木学会第52回年次学術講演概要集V、pp458-459(1997)
- 2) 中井 博編：プレキャスト床版合成桁橋の設計・施工、森北出版、pp37-43(1988)
- 3) 松下博通、久野公德、秋山公彦、品川邦和：ボックスジベルのせん断耐力とせん断剛性に関する研究、九州共立大学研究報告 工学部(第19号)、pp143-151(1995)
- 4) 城 隆史：鋼合成桁に用いたボックスジベルのずれ止め機能の評価、九州大学大学院工学研究科修士論文(1999)
- 5) 城 隆史、松下博通、久野公德、鶴田浩章：ボックスジベルを用いた合成桁の合成効果に関する研究、土木学会西部支部研究発表会、pp750-751(1999)