

論文

[2135] せん断プレストレス導入鋼・コンクリート合成桁接合面の  
処理方法とせん断耐力

正会員○山崎竹博 (九州工業大学建設工学教室)

正会員 徳光 卓 (富士ピー・エス)

正会員 出光 隆 (九州工業大学建設工学教室)

1. まえがき

鋼・コンクリート合成桁は、断面の効率や施工性などに優れた構造形式であり、多くの施工例が見られる。しかし、近年の交通容量の増加や床版劣化に伴う床版の取り替え、補修・補強に際しては逆に主桁とコンクリート床版との一体化に労を要している。特に荷重の増加に対処するため新たにI形鋼を主桁に添接し桁高を増すいわゆる増し桁に対しては、鋼・コンクリート接合部に従来よりも大きいせん断力が作用することになり、ジベルの個数を増やす必要が生じる。一方、コンクリート床版は工期の短縮や省力化、品質向上などの理由から工場管理によるプレキャスト製品の使用が有利である。著者らはプレキャストコンクリート床版と鋼桁とを高力ボルトの高い緊張力(ボルト1本当たり12ton)で接合し、両部材間に生じる摩擦力でせん断力を負担させる工法を報告してきた[1],[2]。これらの実験結果を基に、さらに接合部のせん断耐力を向上させる工法として接合面に作用するせん断力と逆の方向にせん断プレストレスを導入する工法を提案し、その効果を確認してきた[3],[4]。その工法ではせん断耐力が鋼・コンクリート間の摩擦力に大きく依存するため、鋼桁の上フランジ表面の処理状態がその耐力に影響する。床版コンクリートの打ち替えなどでは床版を取り除きフランジ面を研磨清掃して錆を除去した後に床版を設置し、接合面の不整合を調整する目的でグラウトモルタルを注入する。この時、新たに鋼桁を取り替えた場合には鋼桁表面にプライマーや錆止め塗料を塗布していることが多い。鋼桁の防食性の向上から見れば、これらの塗料を付けたままで合成できることが望ましいが、塗料の有無で摩擦係数が変化し、期待したせん断耐力が得られない場合も生じ得る。本研究では、種々の表面状態を持つ鋼桁について一面せん断試験を行ってその摩擦係数を求めると共に、それらの内で有効な処理方法を用い、せん断プレストレスの長期の経時変化を測定した。また、合成桁の曲げ試験を実施し、せん断プレストレスによるせん断耐力の向上、曲げ変形性状についても検討した。

2. 鋼の表面処理方法と摩擦係数

合成桁の接合部の試験モデルとして、図-1に示すような実際の桁の接合部に近い断面構造を持つ一面せん断試験供試体を作成し、鋼接合表面を種々変化させて摩擦性状を測定した。

2.1 実験概要

供試体には表面が平滑なものとブラスト加工したものに對して黒皮つき、塗料塗布、プライマー塗布、錆止め塗布など表-1に示す6種類の表面処理を施した鋼製ブロックを用いた。同表で、ブラストとは鋼表面をブラスト加工したもので微小な凹凸を有する。黒皮(無処理)とは平滑な表面に黒皮の付いた状態を意味

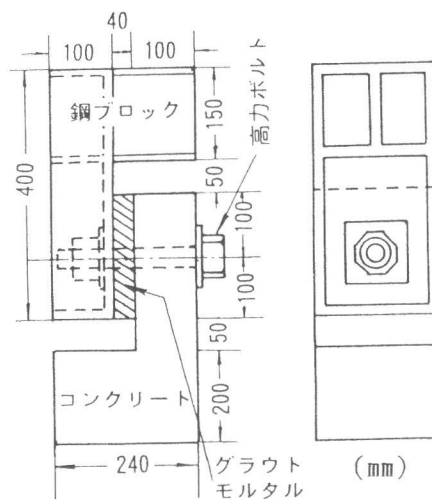


図-1 一面せん断試験供試体

する。一般塗料には塩化ゴム系下地塗料を、錆止めにはズボイド塗料をエッチングプライマーの上から塗布した。接合用高力ボルトには、コンクリート孔と接触しないように3mm厚さのウレタンを巻き、鋼・コンクリートブロックの間隔を40mmに保って無収縮グラウトモルタルを注入した。

注入後3日で高力ボルトに軸力15tfを導入し、軸力の変化は高力ボルトの頭部を削孔して埋設したストレインゲージを用いて測定した。せん断力の载荷に伴う接合面の相対変位は図-2のように供試体両側に取り付けた変位計(最小目盛り1/1000mm)2個の平均値として測定した。

このようにして測定した一面せん断試験の結果を表-2にまとめて示した。試験時のグラウトモルタルの圧縮強度は372~502kgf/cm<sup>2</sup>(平均424kgf/cm<sup>2</sup>)、コンクリートブロックの圧縮強度は498~593kgf/cm<sup>2</sup>であった。

## 2.2 せん断応力~ずれ曲線

摩擦力を利用した接合面はせん断力の増加につれてずれを生じ、最大荷重に達した後界面の破壊に至りすべりを生じる。一面せん断試験から得られたせん断力~すべり曲線を鋼表面の処理方法別に図-3~図-8に示した。それらの結果からせん断摩擦変形能力が大きい順に接合面の処理方法を並べると、グラインダー研磨(G)、ブラスト処理(B)、黒皮(K)、ブラスト+プライマー(BP)、ブラスト+プライマー+錆止め(BPS)、ブラスト+一般塗料(BI)の順になる。また、各供試体間でのせん断力~ずれ曲線の性状にばらつきが少なく、安定した処理方法はG、B、BIと見ることができる。処理方法Gについてはボルト軸力が各供試体で異なっているため最大せん断力も異なるが、そのせん断力~相対変位曲線は図-5に示すようにほぼ相似で最大ずれ量は0.1mmであることが判る。そこで、これらの結果からボルトの軸力と最大せん断力を調べ、それらの関係を図-9に示した。せん断力には付着力と表面状態に起因する機械的抵抗力、摩擦力が含まれると考えられるが、ここではこれらすべてをまとめて摩擦力とし係数を算出した。その中でブラスト加工をした無塗装の鋼表面とコンクリートとの摩擦係数が最も高くなり、かつばらつきも少ないことが分かった。その平均摩擦係数は0.909であったがブラスト加工の上に塗料を塗布したものは0.72~0.77となり、供試体間のばらつきも大きいことが判る。そこで、本研究ではブラスト加工した塗装面とコンクリートとを接合し、鋼・コンクリート合成桁を作製した。

表-1 鋼表面の処理方法

記号	処理方法
K	黒皮付(無処理平面)
G	グラインダー研磨
B	ブラスト加工(無塗装)
BI	ブラスト加工+一般塗料
BP	ブラスト加工+プライマー塗布
BPS	ブラスト加工+プライマー塗布+錆止め塗布

表-2 一面せん断試験結果

供試体	軸力(tf)	最大荷重(tf)	摩擦係数 $\mu$	モルタル(kgf/cm <sup>2</sup> )	
				圧縮強度	弾性係数 $\times 10^5$
K-1	12.7	10.3	0.81	497	2.80
K-2	15.4	10.9	0.71	453	2.22
K-3	15.5	12.1	0.78	502	2.31
B-1	16.0	14.0	0.88	445	2.43
B-2	16.6	14.8	0.89	445	2.43
B-3	15.0	14.4	0.96	502	2.31
BI-1	14.1	9.0	0.64	372	2.30
BI-2	15.8	11.8	0.75	475	2.42
BI-3	14.4	12.3	0.85	497	2.80
BP-1	13.5	11.6	0.86	300	2.39
BP-2	16.2	11.1	0.69	300	2.39
BP-3	14.6	10.9	0.75	400	2.27
BPS-1	14.5	12.0	0.83	373	1.81
BPS-2	15.1	11.5	0.76	372	2.30
BPS-3	14.6	8.4	0.57	475	2.42
G-1	12.5	8.5	0.68	373	1.81
G-2	16.3	12.9	0.79	422	2.93
G-3	16.2	11.3	0.70	422	2.93

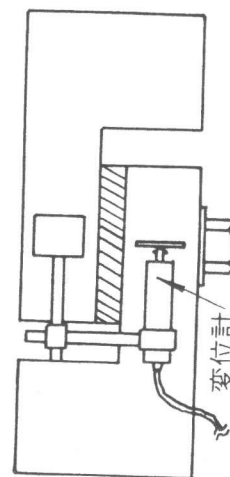


図-2 せん断ずれの測定状況

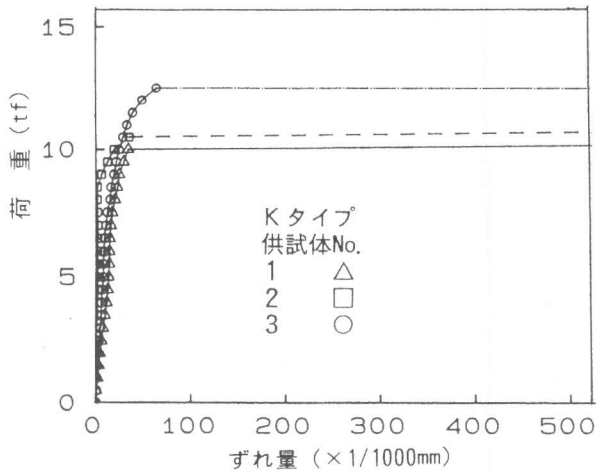


図-3 Kタイプせん断荷重～ずれ量曲線

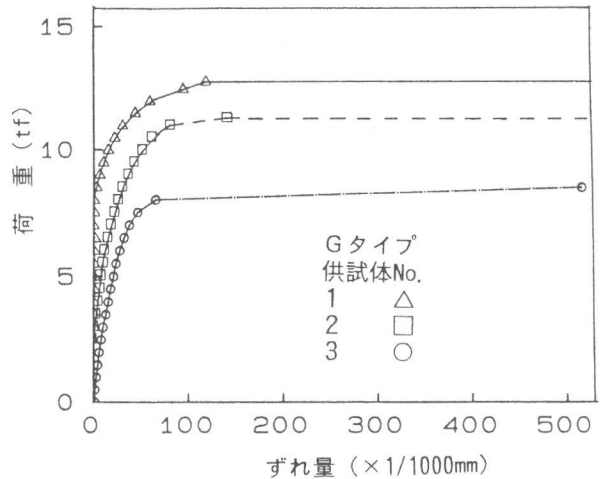


図-4 Gタイプせん断荷重～ずれ量曲線

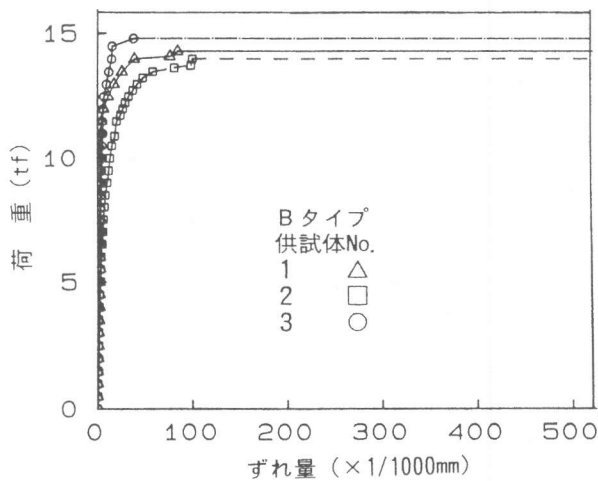


図-5 Bタイプせん断荷重～ずれ量曲線

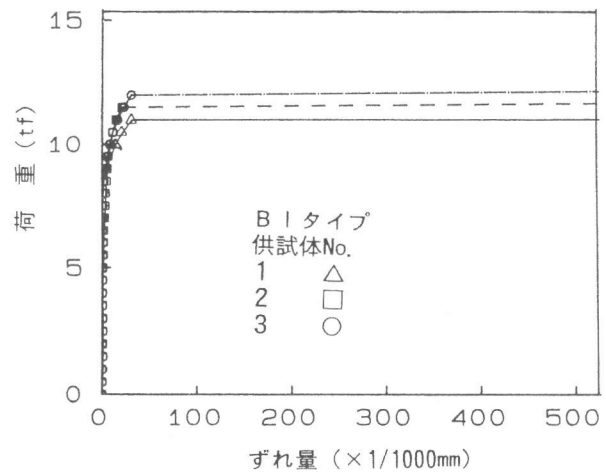


図-6 BIタイプせん断荷重～ずれ量曲線

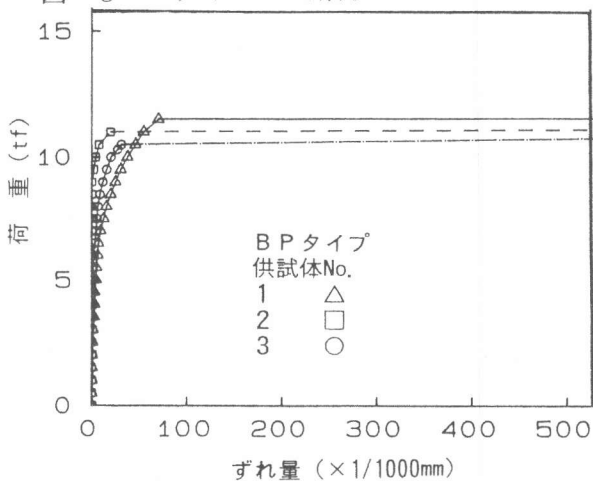


図-7 BPタイプせん断荷重～ずれ量曲線

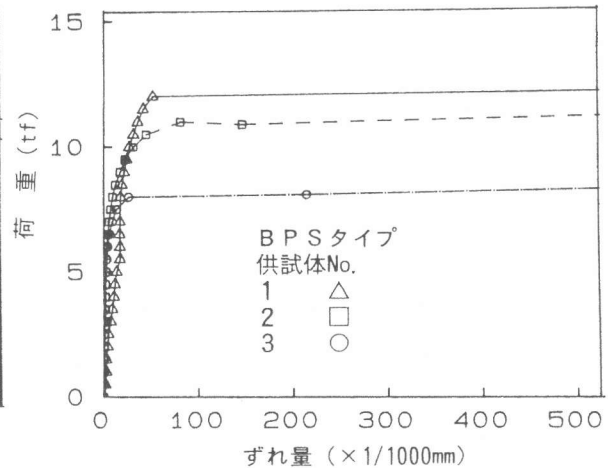


図-8 BPSIタイプせん断荷重～ずれ量曲線

### 3. せん断プレストレスの導入方法

せん断プレストレスは荷重によって接合面に作用するせん断力と反対の方向に前もって作用させたせん断応力であり、図-10のようにその導入概念を示すことができる。合成桁接合面に作用するせん断プレストレスの導入には大別して図-11に示す5種類の方法が考えられる。

①主桁と床版を重ねばりにし、所定の曲げ変形を与えた状態で両者を合成して変形を解除する。

②鋼桁に正の偏心曲げモーメントを作用させ、両者を合成後偏心圧縮力を除去する。

③鋼桁と床版とを合成した後に下縁側にプレストレスPを導入する。

④床版に引張力を作用させた状態で鋼桁と合成し、引張力を除去する。

⑤鋼桁と床版とを合成した後に床版にプレストレスPを導入する。

この内①は曲げ変形状態を保持した状態で接合することが困難であること、③の方法は一般的な方法ではあるが軸力の偏心距離を大きくする必要があり、④の方法は床版にひびわれの発生の恐れがあり、分割されたプレキャスト部材では、導入が困難である。⑤の方法はコンクリート床版にプレストレス導入用のシースが必要なことなどの問題があり、本研究では②の方法によってせん断プレストレスを導入した。ちなみに③の方法をポストベンディング方式と名付けてせん断プレストレスの導入を図ったが、図-12に示すようにプレストレスは負となり、更に偏心距離の大きい断面に有効であることが分かった。

#### 4. せん断プレストレスの長期の経時変化

高力ボルトの緊張力によって合成された鋼・コンクリート合成桁の曲げ性状、接合部のせん断性状についてはスタッドジベルのそれよりも高いせん断剛性を示し、通常の使用状態では一体桁と同様の曲げ挙動を示すことを既に報告して来た。

鋼・コンクリート合成桁にせん断プレストレスを導入する場合、コンクリート床版には引張応力が発生し、導入量によっては床版にひびわれが発生する危険性がある。そこで、本研究では事前にコンクリート床版にプレストレスを導入しておき、せん断プレストレス導入時に床版に生じる引張力を打ち消すようにした。このようにして導入したせん断プレストレスが長期の使用時にどのように変化して行くかを調べる目的で、桁の曲げ疲労試験を実施しせん断プレストレス量の変化を調査した。

##### 4. 1 供試体の作製・測定方法

合成桁の断面寸法を図-13に示す。鋼桁両端には厚さ25mmの定着用鋼板を取り付け直径23mmのPC異形棒鋼を鋼桁下縁から20.7cmの位置に左右対称に配置した。

PC棒鋼2本には20%のクリープによる応力損失を見込んで12tfの緊張力が得られるように、各々の鋼棒に15

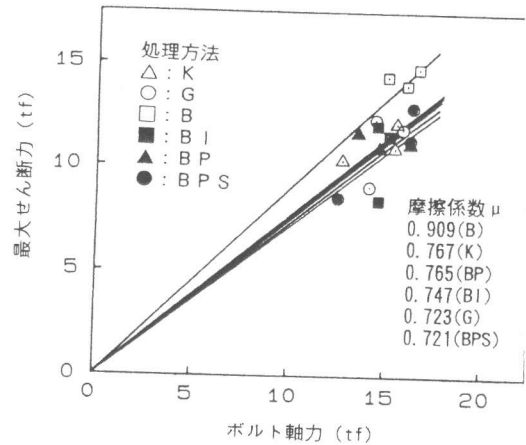


図-9 ボルト軸力と最大せん断力

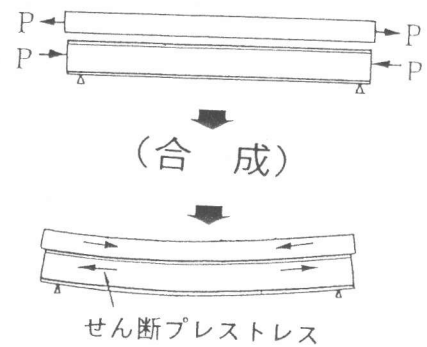


図-10 せん断プレストレス導入概念図

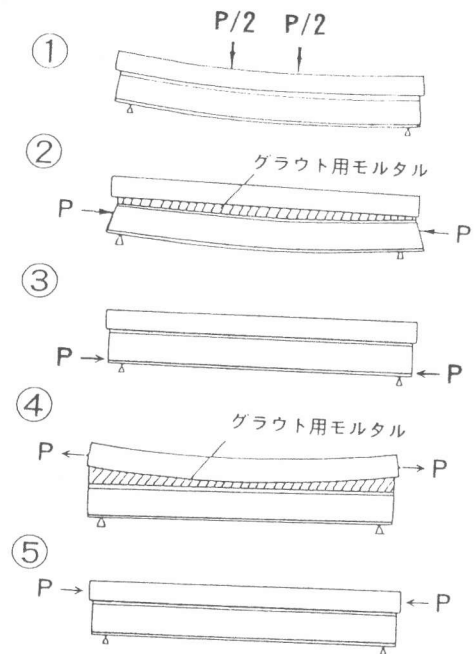
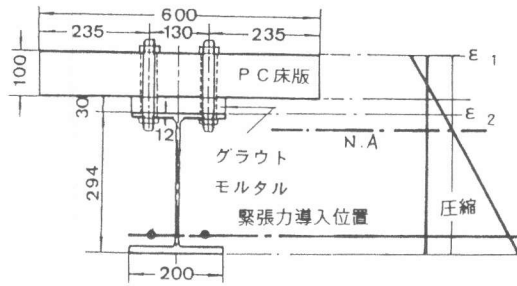


図-11 種々のせん断プレストレス導入方法

tf, 合計30tfの軸力を導入した。

軸力導入後にコンクリート床版を鋼桁から30mm離して設置し、フランジ側面にグラウト用型枠を取り付ける。高力ボルトF10T, M20に3mm厚さのウレタンフォ



$E_c = 2.76 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$   
 $I_e = 33952 \text{ cm}^4$   
 $n = 7.6$   
 せん断プレストレス  $Q_p$   
 $Q_p = -0.03P$

図-12 ポストベンディング方式によるせん断プレストレスの導入

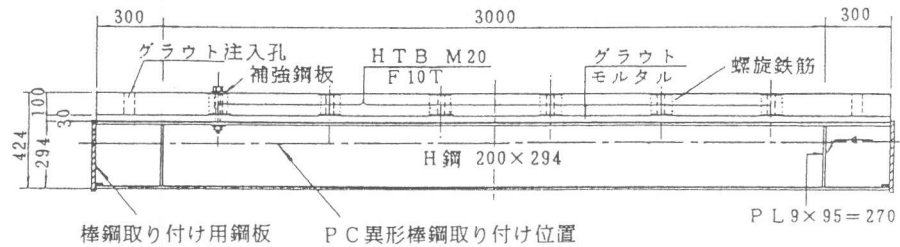
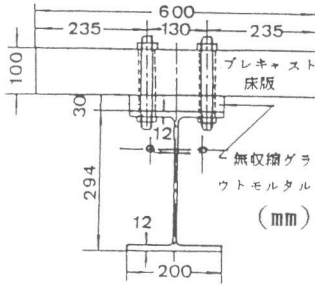


図-13 せん断プレストレス導入合成桁の形状・寸法

ームを巻き付け床版の取り付け穴に挿入した後、床版と鋼桁間にグラウトモルタルを注入する。グラウトモルタルの流下時間はJロートで8秒になるよう水量を調節した。

ボルト間隔は50cmであり、ボルト挿入口の周囲には補強金具を配置し、接合力導入に伴う局部破壊を防止している。また、ボルトには直径60mm, 厚さ9mmの座金を使用して力の分散を図った。

グラウトモルタル硬化後材令3日で高力ボルトにそれぞれ15tfの接合力を導入し桁を合成する。

接合から3日間ボルトの接合力を測定し、その値が安定してから主桁のPC棒鋼の緊張を解除してせん断プレストレスを導入した

合成桁の曲げ疲労試験時の载荷およびひずみ、変位などの測定状況を図-14に示す。

#### 4.2 せん断プレストレスの長期変化

せん断プレストレスを導入した合成桁が使用荷重を受けた場合にせん断プレストレスがどのように変化するかを調査するため曲げ疲労試験を実施した。疲労荷重は桁の推定せん断耐力38tfの約40%に当たる0~15tfの片振りとし、10万回载荷ごとに0~15tfの静的载荷試験を行ってその曲げ性状を測定した。

せん断プレストレス導入時および200万回繰り返し载荷後の桁中央部のひずみ分布を図-15にそれぞれ破線と実線で示す。同図の破線で示す導入時の

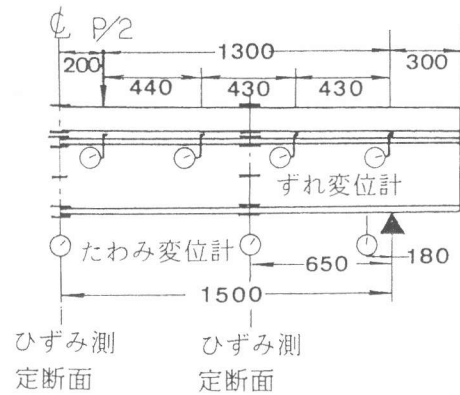


図-14 ひずみ、たわみの測定状況

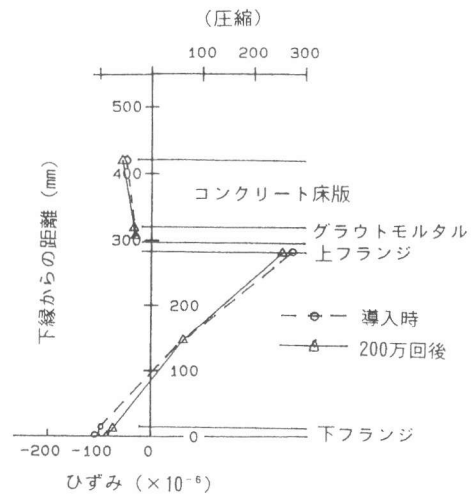


図-15 疲労試験前後の合成桁中央断面のひずみ分布図

ひずみ分布からせん断プレストレスを計算すれば7.9tfとなりボルト1本当たりでは1tfとなる。このせん断プレストレスは200万回繰り返し後でも実線で示すようにわずかに増加傾向を示すがほとんど変化なく一定であることが分かる。

このほかせん断プレストレスの変化は桁の接合部のずれを伴う場合にはたわみ性状の変化を生じる。そこで、疲労試験時の桁のたわみ量の変化を図-16に示した。その結果、荷重0tfでの残留たわみは200万回後でわずかに0.2mmであり、その原因は図-15のひずみ分布も併せて検討した結果コンクリート

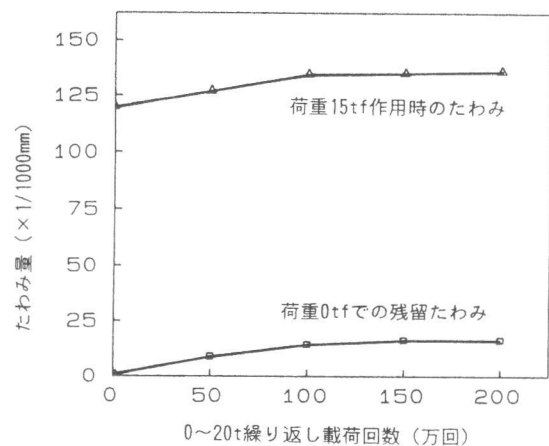


図-16 繰り返し荷重に伴う合成桁のたわみ

床版の塑性変形などによるものとの結論を得た。また、荷重0~15tfでの弾性たわみ量も繰り返し回数に関係無く一定値を示し、接合部のひびわれなどの異常も見られなかった。

## 5. 結論

以上、鋼表面を塗料などで防食した主桁にコンクリート床版を接合した合成桁の表面処理方法の違いによるせん断耐力への影響を実験的に調べた。また、合成桁に導入されたせん断プレストレスの使用時の経時変化を測定し、その有効性を確認した。これらの実験に関して得られた知見を以下に記す。

- 1) 鋼・コンクリート間のせん断力～すべり曲線は表面がブラスト加工などでわずかに凹凸がある無処理の表面で最もずれ能力が高い。最大ずれ量は約0.1mmであった。
- 2) 錆止めやプライマーを塗布した鋼とコンクリート間の摩擦係数は0.7程度であるが、供試体間のばらつきが大きい。
- 3) ブラスト加工をした無処理の鋼表面ではコンクリートとの摩擦係数が0.9となり、ばらつきも少ない。
- 4) せん断耐力の40%に相当する荷重レベルで繰り返し荷重200万回を載荷してもせん断プレストレスは一定値を保持できる。
- 5) 疲労試験後、せん断プレストレスを導入した合成桁の接合面に異常は見られなかった。

## 参考文献

- 1) 出光隆, 山崎竹博, 渡辺明, 永井篤, “ずれ止めに高力ボルト緊張による摩擦力を考慮したプレキャスト床版使用合成桁に関する研究”, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.10-3, 1988.
- 2) 山崎竹博, 出光隆, 宮川邦彦, 金成洙, “鋼・コンクリート間の摩擦力をずれ止めに応用した合成桁に関する研究”, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.11-1, 1989.
- 3) 山崎竹博, 出光隆, 渡辺明, 浜口英樹, “鋼・コンクリート合成桁へのせん断プレストレス導入方法”, プレストレスコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, 1990.
- 4) Takehiro YAMASAKI, Takashi IDEMITSU and Akira WATANABE, “BENDING BEHAVIOR OF PRE-SHEAR STRESSED STEEL-CONCRETE COMPOSITE BEAM”, Proc. of 3rd International Conference on STEEL-CONCRETE COMPOSITE STRUCTURES.