

(12) 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

九州工業大学 ○山崎 竹博
九州工業大学 正会員 出光 隆
九州工業大学 正会員 渡辺 明
同 大学院 浜口 英樹

1. まえがき

鋼・コンクリート合成桁の接合部では、一般に、鋼桁フランジに溶接したジベルなどのずれ止め金具をコンクリート床版中に埋設してせん断力に対する補強を行う。最近では床版にプレキャストコンクリートを使用する例が増えているが、このような桁ではプレキャスト床版中にずれ止め金具挿入用の穴を設けておき、現場でコンクリートを打設して鋼桁と一体化する必要が生じる。従って、支点近くなどせん断力の大きい部分ではプレキャストコンクリート床版のずれ止め箇所が増え、挿入用の穴の確保が困難となる場合が生じる。

著者らは施工の迅速化、省力化が期待でき、かつ、ずれ止め間隔を大きくできる工法として、鋼桁とプレキャストコンクリート床版とを高力ボルトの緊張力で接合し、その接合面に発生する摩擦力をせん断耐力に取り入れる研究を行って来た。^{1) 2) 3)} この時、荷重によって生じる方向とは逆に接合面にせん断力を導入しておけば、接合面のせん断耐力はその分増大することになる。本論文では、この応力を“せん断プレストレス”と名付け、実際に同プレストレスを導入した鋼・コンクリート合成桁を作製して曲げ試験を行い、桁のせん断耐力向上との関係や、各種の導入方法についても検討を行った。

2. せん断プレストレスの導入方法

床版と鋼桁とを合成する際に図-1の様に外力として圧縮力または引張力を床版または鋼桁に作用させ、その状態で両者を接合すれば、外力を除去した後の接合面にはせん断プレストレスが発生する。当然、せん断プレストレスは合成桁接合部のせん断耐力が増加する方向に導入されるべきで、その導入には図-2に示すような方法が考えられる。

①非合成桁に載荷し、床版と鋼桁間にせん断ずれを起こした状態で両者を接合した後、除荷する。

②鋼桁に軸圧縮力を作用させた状態で床版を接合し、その後軸圧縮力を除去する。

③鋼桁と床版とを合成した後、床版に軸方向圧縮力を導入する。

④床版に軸引張力を作用させた状態で鋼桁と接合し、その後軸引張力を除去する。

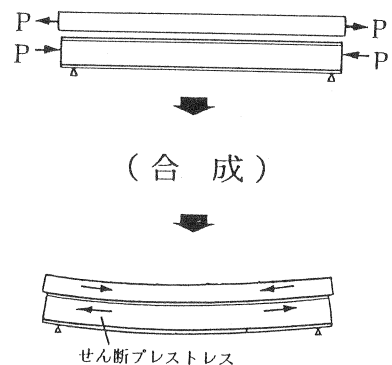


図-1 せん断プレストレス導入の概念図

①の方法では曲げ載荷装置を必要とし、載荷状態のまま床版と桁とを接合するため、現場での施工には載荷方法に特に工夫が必要となる。また、ずれ止め金具の床版への定着にも迅速性が要求されるため、床版と鋼桁とは高力ボルトなどの緊張力で即時に合成できることが望ましい。②の方法では、まず鋼桁断面の中立軸より上の位置にP C 鋼棒などで軸圧縮力を導入したまま、鋼桁上に床版を置いてずれ止め金具固定用のコンクリートを打設するか、または、接合面に早強性のグラウトモルタルを注入した後高力ボルトを緊張して桁を合成する。桁を合成した後P C 鋼棒の軸圧縮力を抜けば、接合面にせん断プレストレスが発生する。本方法では局所的なせん断プレストレスの導入も可能となり、実用的な導入方法と考えられる。③は合成された桁の床版部に軸圧縮力を導入するもので、実用的かつ最も簡単な方法と考えられる。④の方法では床版に与える引張力の反力が床版外に必要となることや、床版にひび割れ発生の恐れがあり、分割されたプレキャスト床版を用いる場合接合部の引張強度を確保しなければならないなどの問題点がある。

このようなせん断プレストレスが合成桁接合部のせん断耐力向上に及ぼす影響を調べるため、本研究では高力ボルトの緊張力で鋼桁とプレキャスト床版とを合成し、上記②の方法でせん断プレストレスを導入して曲げ試験を実施した。

3. 高力ボルトの緊張力による鋼・プレキャストコンクリートの接合

合成桁接合部でのせん断伝達力を確保するため、鋼主桁とコンクリート床版との接合面にジベルなどのずれ止め金具を挿入した場合、図-3に示すようにせん断力はそれぞれの金具に集中して作用する。このような接合面にずれが生じた場合、金具の変形などによりこれに接するコンクリートは局所的な損傷を受けることになる。¹⁾そこで著者らは図-4のように鋼とコンクリートを高力ボルトの緊張力で接合し、その摩擦力のみによってせん断力を受け持たせる方法を検討してきた。その結果として、すべりが生じてもボルトの軸力が変化しない限り一定のせん断耐力を維持できることや、従来のジベルで接合したもの以上のせん断剛性を持つこと、ボルトの軸力によってせん断耐力の調整を行えることなどを報告してきた。^{1) 2) 3)}この時、摩擦力は1面および2面せん断試験から摩擦係数 0.6を用いて計算できること、終局耐力の35%

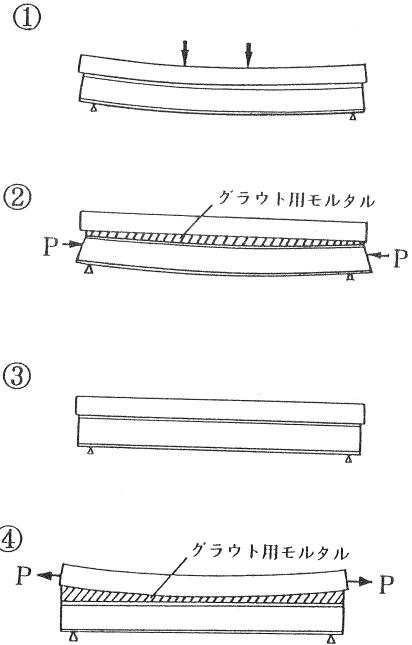


図-2 桁合成時の力の作用状態図

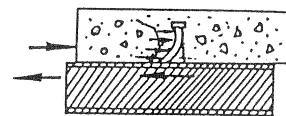


図-3 スタッドジベルによる接合

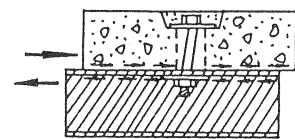


図-4 高力ボルトによる接合

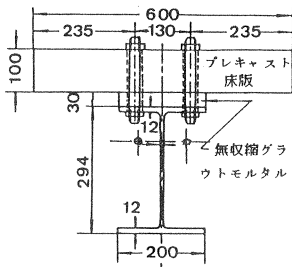


図-5 合成桁の断面寸法

以下では10万回載荷疲労試験後も接合面にすべりの生じないこと等が確認されている。

4. 供試体の作製ならびに実験方法

せん断プレストレスを導入した曲げ試験用供試体の断面寸法を図-5に、形状寸法を図-6に示す。桁の施工順序は次のとおりである。

①鋼桁両端に軸圧縮力導入用定着板を取り付ける。定着板には厚さ25mmの鋼板を脱着可能な形で使用した。

②PC異形棒鋼を桁の水平変位に注意しながら緊張する。棒鋼には呼び径23mmのPC異形棒鋼を鋼桁下縁から20.7cmの位置に配置し、15ton×2本=30tonの軸圧縮力を導入した。

③コンクリート床版およびボルトを仮設する。高力ボルトにはF10T、M20を50cm間隔に2列、合計12本使用した。各ボルトにはコンクリートとの接触を避けるようウレタンマットを巻き、ボルト表面7.5mmの空間を確保している。コンクリート床版のボルト穴周囲にはボルトの緊張力で支圧破壊が生じないように、図-7に示す補強用金具をコンクリート中に埋設した。また、ボルト座金にはφ60mm、厚さ9mmを使用して力の分散を図った。

④鋼桁・床版間にグラウト用の型枠を取り付け、注入穴から1mの高低差を設けて無収縮モルタルを注入する。モルタル層は面の不整合を除去するために使用し、その厚さは最大3cm、モルタルの流下時間はJロートで8秒とした。

⑤ボルトに緊張力を導入し、鋼桁と床版とを接合する。導入緊張力は最終緊張力が12tonとなるようにその損失20%を見込んで各々15tonを導入した。ボルトの断面中心には直径2mmの穴を設け、その中にストレインゲージを埋設して緊張力の計測を行った。

⑥偏心軸圧縮力を取り除きせん断プレストレスを導入する。この時、床版に引張力が作用するので、軸力の大きさによってはひび割れ発生を防止することが必要である。

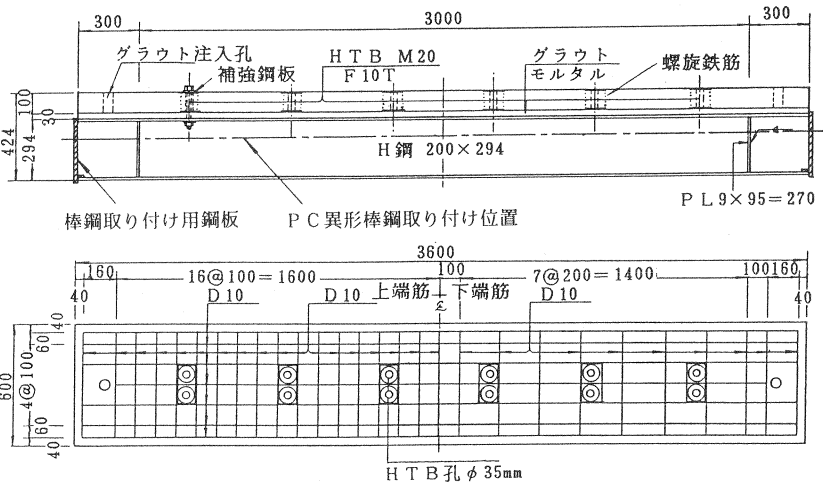


図-6 合成桁の形状寸法

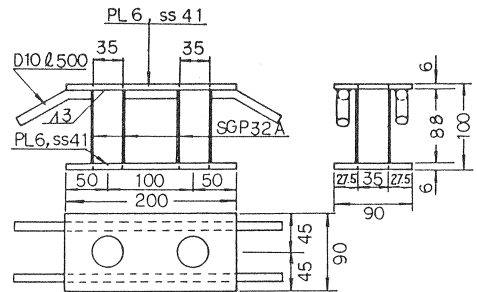


図-7 埋込金具の詳細図

5. 実験結果および考察

床版コンクリートおよびグラウトモルタルの試験時の強度と弾性係数を表-1に示す。

TYPE	コンクリート		モルタル	
	I	II	I	II
圧縮強度	618	577	486	456
弾性係数	2.84×10^5	3.02×10^5	2.72×10^5	2.42×10^5

曲げ試験用供試体はせん断プレストレスを導入しない桁をTYPE-1、導入した桁をTYPE-2

とした。スパンは300 cmとし、載荷点を桁中央から左右20cmの位置とした。せん断プレストレス導入時、曲げ試験時の断面ひずみや鋼桁と床版間のずれおよび桁下縁のたわみ分布は図-8に示す各位置およびその対称位置で測定した。このほか、高力ボルトの緊張力や床版のひび割れ状態も測定した。

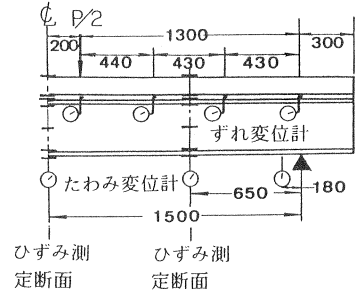


図-8 変位計およびゲージの取り付け位置

5. 1 せん断プレストレス導入時のひずみ

鋼桁の軸力30tfを除去した直後のせん断区間でのひずみ分布を図-9に示す。同図から鋼桁と床版の両下縁共に引張ひずみが発生し、

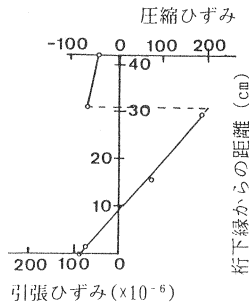


図-9 せん断プレストレス導入直後

コンクリート応力は約25kgf/cm²となること分かる。本試験では床版のひび割れの影響を除去するため、桁の合成後に15tfを載荷して床版に圧縮ひずみを発生させた状態でせん断プレストレスを導入した。そのせん断区間中央の実測ひずみ分布は図-10に示すようにはほぼ理論値と一致している。

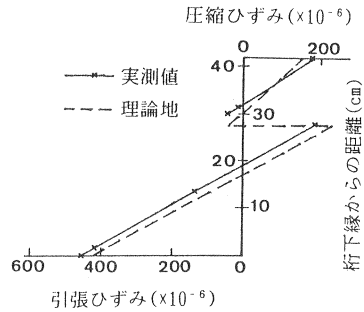


図-10 15tf+せん断プレストレス導入

ただし、合成桁の図心に接合面が一致する場合には、床版に軸方向プレストレスを導入するなどの引張応力低減策を用いる必要がある。図-11は載荷試験時のひずみ分布であり、48tfですべりが発生するまでは完全合成桁として挙動している。すべり発生以降は急速に曲げ剛性が低下し、鋼桁および床版は共に曲率の増加を示している。

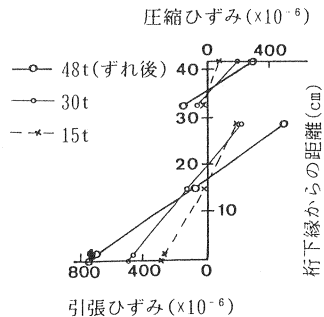


図-11 載荷時の断面ひずみ分布

5. 2 鋼桁とコンクリート床版とのずれ

図-12に載荷時の桁の実測ずれ分布を示す。鋼桁と床版間にずれが生じた場合、図-9~11に見られるように断面のひずみ分布はそこで不連続となる。この不連続ひずみ量が断面に作用する曲げモーメントに比例すると仮定し、

その値を載荷点から積分すればずれ量が求められる。このようにして計算したずれ分布は図-12に破線で示すように2次曲線となり、実測値をほぼ近似できることが分かる。一方、桁のせん断区間中央における荷重とずれ量の関係は図-13のように測定され、せん断プレストレスの有無はせん断剛性には影響しないことが分かる。

5.3 接合部のせん断耐力

図-13に示す荷重～ずれ分布曲線からTYPE-Iの桁では32tfで、TYPE-IIの桁では48tfで接合面に大きなずれが発生し、桁のせん断破壊を生じた。その結果、せん断プレストレスを導入した桁は導入しない桁に比べて16tf(50%)のせん断耐力増加を示し、鋼桁の軸方向圧縮力30tfによって導入されたせん断プレストレス力(2.8tf/ボルト1本)によるせん断耐力増加の計算値12.1tfを上回る結果を得た。

高力ボルトの緊張力によって接合した合成桁では、鋼桁が降伏しない限り、接合面のすべりによって新たなせん断プレストレスが導入されたことになり、再載荷に対して更に耐力の増加が生じる。

5.4 摩擦係数

合成桁の接合面にずれが生じると、鋼桁と床版とはそれぞれ別のはりとして挙動し、接合面のせん断力は減少することになる。このような不完全合成理論を用いてボルト1本当当たりのせん断力を計算した。その結果を外力によるせん断抵抗力とずれとの関係として図-14に示した。同図から最大荷重時のボルト1本当当たりせん断耐力はTYPE-Iで7.4tf、TYPE-IIで11.0tfとなる。TYPE-IIでは先にボルト1本当たり2.8tfのせん断プレストレスを導入しているので、これを差し引くと最大せん断力は $11.0 - 2.8 = 8.2$ tfとなる。これらの値をボルト緊張力の実測値の平均値(TYPE-I:12.6tf, TYPE-II:13.6tf)で割ると摩擦係数はそれぞれ0.59、0.60となり、せん断プレストレスを導入しても摩擦係数は変化しないことが分かった。

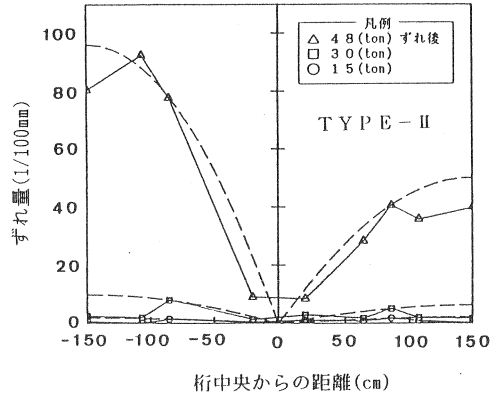


図-12 桁接合部のずれ分布

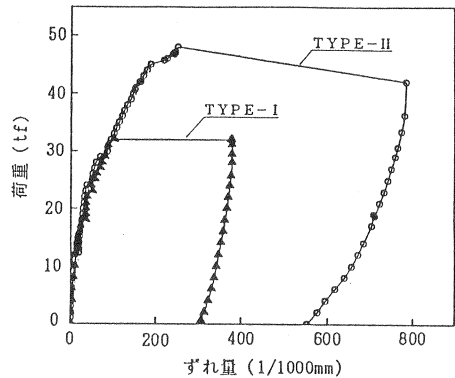


図-13 荷重と接合面のずれの関係

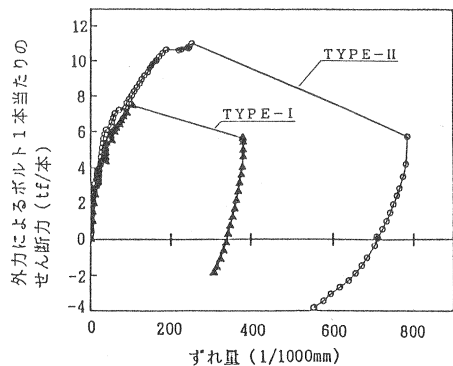


図-14 ボルト1本当当たりの外力に対するせん断力と接合面のずれ量との関係

5. 5 鋼桁の下縁応力

本供試体では合成桁の曲げ耐力が接合部のせん断破壊または鋼桁下縁の降伏によって決まるため、図-15に荷重と鋼桁の下縁応力との関係を示しせん断プレストレスの影響を検討した。同図から、桁の下縁応力はTYPE-Iでは荷重32tfで1800kgf/cm²となり、SS41材の降伏強度の規格値2500 kgf/cm²より小さい値で接合部のずれが生じている。一方、TYPE-IIでは鋼桁への軸方向力の導入によって、事前に-116 kgf/cm²の圧縮応力が生じている。その後荷重によって引張応力が発生するが、荷重15tfで鋼桁の軸力を除去してせん断プレストレスを導入する際に330kgf/cm²の応力増加があった。したがって、せん断プレストレス導入の為に生じた鋼桁下縁の引張力は 330-116=214 kgf/cm² ということになる。TYPE-IIの最大荷重時の下縁応力は3010 kgf/cm²となり、鋼桁の降伏と同時に接合面に大きなずれが生じたものと考えられる。

6. まとめ

鋼・プレキャスト床版合成桁にせん断プレストレスを導入してせん断耐力の増加を試みた。以下に、実験より得られた知見を記す。①合成桁のせん断耐力を増大させる方法としてせん断プレストレスの有効性を確認できた。②ずれに伴う接合面のせん断力低下量は計算値とほぼ一致した。③高力ボルトの緊張力で合成した桁は、ずれ発生後、更にせん断プレストレスの増加が期待できる。④せん断プレストレスの有無に拘わらず、鋼・コンクリート間の摩擦係数はほぼ0.6であった。⑤せん断プレストレスの有無は接合面のせん断剛性には影響しない。

謝辞 本研究を遂行するに当たり、ご援助を賜った富士ビー・エス・コンクリート(株)に深謝の意を表します。

参考文献

- 1)山崎竹博・出光隆・宮川邦彦・渡辺明, “高力ボルトの緊張力で合成した鋼・プレキャストコンクリート合成桁の曲げ性状”,九州橋梁構造工学研究会, 土木構造・材料論文集, 第2号, pp.119-126.
- 2)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, 第10巻, 3号, pp.127-130.
- 3)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剛性桁に関する研究”, コンクリート工学年次論文報告集, 第11巻, 1号, pp.627-632.
- 4) I. M. VIEST, “Investigation of Stud Shear Connectors for Composite Concrete and Steel T-Beams”, Journal of the ACI, No. 52-56, April 1956. pp. 875-891.

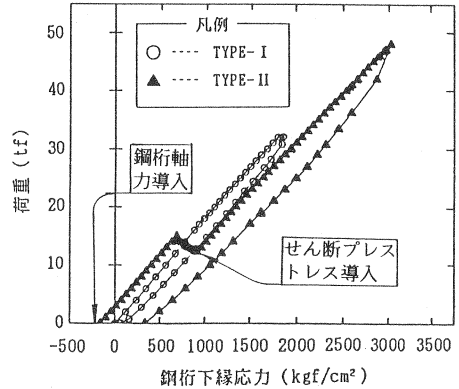


図-15 荷重～桁中央下縁の応力の関係