

グループスタッドの静的および疲労特性に関する実験的研究

Experimental Study on Static and Fatigue Characteristics of Grouped Stud

大久保 宣人*, 栗田 章光**, 小松 恵一***, 石原 靖弘*
Nobuhito Okubo, Akimitsu Kurita, Keiichi komatsu, Yasuhiro Ishihara

- * 片山ストラテック(株) 技術本部技術開発部 (〒551-0021 大阪市大正区南恩加島6-2-21)
** 工博 大阪工業大学工学部土木工学科教授 (〒535-8585 大阪市旭区大宮5-16-1)
*** 大阪工業大学大学院 (〒535-8585 大阪市旭区大宮5-16-1)

Recently, in Japan, the continuous composite twin girder bridges with PC slabs aiming at the reducing construction cost and period are adopting widely. In order to decrease the tensile stress of the concrete slab in the region of the intermediate support of that type of the bridges, the jack-up-down method is commonly used. However, by applying the grouped stud method, it is possible to introduce the more effective prestress than the usual prestressing methods. In this methods, the static and fatigue push out tests of the grouped stud were executed to obtain the mechanical behaviors. The stud diameter of 22mm was used in the test. As the results of the tests, the static and fatigue strength of the stud are compared with the design values according to some design rules and are discussed herein. .

Key Words: grouped stud, composite girder, static push out test, fatigue push out test

キーワード: グループスタッド, 合成桁, 静的押し抜き試験, 疲労押し抜き試験

1. 序論

近年, 我が国における中小スパン橋梁は, 設計・施工の合理化・省力化を追求したPC床版を有する少数主桁橋や多径間連続合成桁橋などが計画・建設されるケースが増えている。連続合成橋の橋軸直角方向の床版コンクリートのひび割れ対策として, 中間支点上にプレストレスを導入し橋梁の耐久性を向上させることが増大している。プレストレス導入工法としては中間支点のジャッキアップダウン工法の採用が多いが, さらに床版に有効なプレストレスを導入する工法としてスタッドのグループ配置工法がある。スタッドをグループ配置した合成桁はスイスでは実績があり研究事例¹⁾もある。我が国においてはグループ配置したスタッド(以下, グループスタッド)に関する既往の研究^{2~3)}で, 縮小モデルにおいて従来配置とグループ配置の挙動の差がないことは確認されているものの, 実橋サイズにおける研究事例は少ない。そこで, 本研究ではスイスでの研究を基に, 実橋で使用頻度の多いφ22のスタッドを用い静的および疲労特性を把握するためにグループスタッドの静的および疲労押し抜き試験を行った。

本文は, まずグループスタッドの概要とスイスにおける施工事例を示す。つぎに, 静的および疲労押し抜き試験結果を報告し, 最後に総括と今後の課題を述べる。

2. グループスタッドの概要および施工事例

合成桁では, コンクリート床版と鋼桁が一体となって外力に抵抗するように, ずれ止めを介して両者が結合されている。ずれ止めには頭付きスタッドが使用されることが多く, コンクリート床版と鋼桁との間に生じる水平せん断力により床版と鋼桁にずれが生じないように適切な間隔で連続して配置するのが一般的である。しかし, 近年, PC床版が多く用いられることから, 従来のスタッド配置では, 床版を橋軸方向あるいは橋軸直角方向へプレストレスす

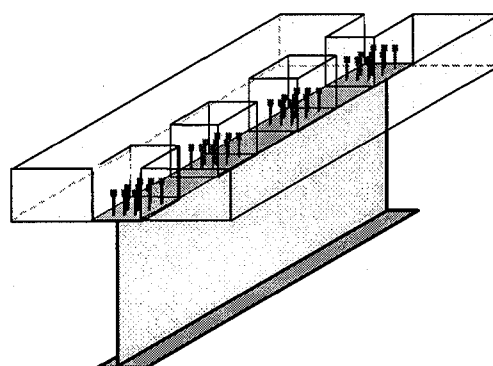
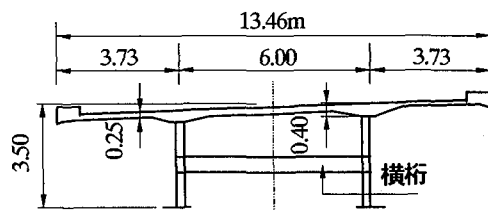
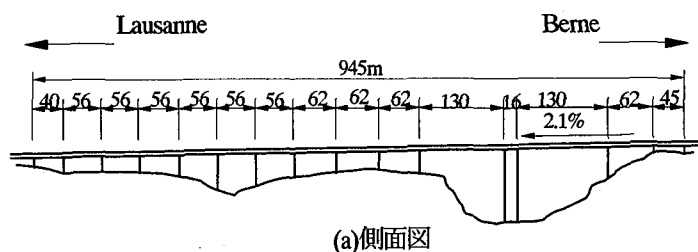
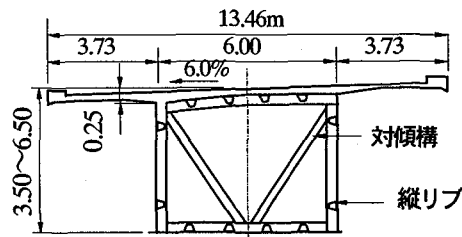


図-1 スタッドグループ配置



(b)2 主桁部断面図



(c)箱桁部断面図

図2 スタッドをグループ配置した合成桁 (スイス: Des Vaux 高架橋) (単位: m)

ることによる鋼桁への影響が発生するとともに、コンクリート床版に十分なプレストレスが導入されにくくなる。そこで、図-1に示すように、スタッドをグループ配置し、床版と鋼桁とを合成しない状態で、コンクリート床版にプレストレスを導入し、その後、無収縮モルタルを箱抜き部に充填し両者を合成する工法が考え出された。

以下に、グループスタッドの利点を挙げる。

- ①床版の横および縦方向の双方に、有効なプレストレスが導入できる。
- ②鋼桁には、プレストレスによる二次応力が発生しない。
- ③場所打ち、あるいはプレキャスト床版の双方に、本工法が適用できる。
- ④鋼桁と床版の合成時期を遅らすことにより、乾燥収縮による影響が軽減される。

スタッドをグループ配置させた橋梁は、スイスにおいて数橋の施工実績⁴⁾があり、その一例として、Des Vaux高架橋の概要について述べる。図-2にDes Vaux高架橋の一般図を示す。Des Vaux高架橋はローザンヌとベルンを結ぶ高速道路1号線のNeuchatel湖のすぐ南東にある急な斜面に挟まれたVaux谷に架かる橋梁で、平面線形は曲率半径が1000mのS字形である。鋼箱桁の架設では世界最大クラスの130mの送り出し架設を行っている。総幅員が13.46mで支間長が40m～最大130mまで変化し、2主I桁部と箱桁部の2種類の上部工形式を有する連続合成桁橋である。130mの最大支間部は箱桁構造で、2本の橋脚間の主桁高が6m、両端部の桁高が3.9mである。支間の短い側径間部は2主I桁構造で主桁高は3m程度である。床版厚の平均は290mmで、橋軸方向および橋軸直角方向の両方向にプレストレスされている。プレストレスは主桁と床版が合成される前に導入されている。すなわち、主桁上フランジに取り付くスタッドをグループ配置させ、グループスタッド部を箱抜きした状態で床版コンクリートを打設しプレストレスを導

入する。そして、スタッド箱抜き部に無収縮のコンクリートを充填し、主桁と床版が合成される。

3. 静的押し抜き試験

3.1 試験の概要

(1)概要

スタッドをグループ配置させた場合のスタッドの水平せん断耐力の評価を行う必要があるため、静的押し抜き試験を実施した。静的押し抜き試験はスイスでの研究結果と比較するため、供試体の形状寸法を同じとし、JSSCのスタッド押し抜き試験方法⁷⁾にしたがって行った。

(2)供試体の種類と形状寸法

供試体の形状寸法を図-3に示す。供試体は鋼桁に相当するビルトアップしたH形断面の鋼フランジ(幅270mm、厚さ32mm、長さ1000mm)にコンクリート床版に相当する

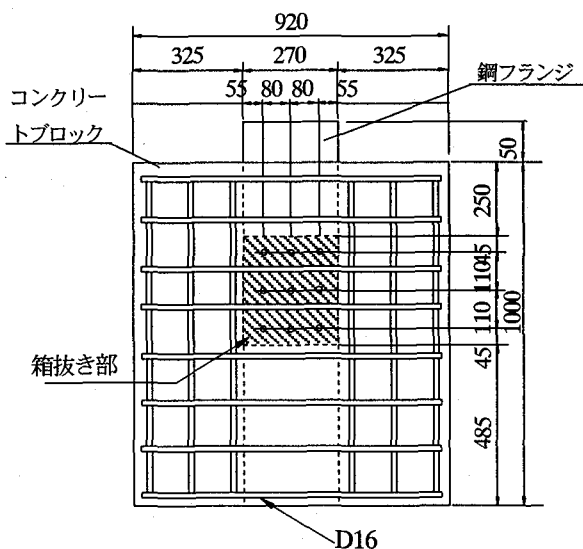
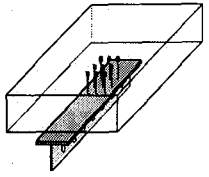
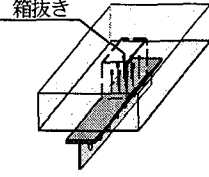


図3 供試体形状寸法(単位:mm)

表-1 供試体の種類

Type	概要説明	ずれ止め配置の概要図
Type1 グループ配置 箱抜きなし	スタッドをグループ配置したもので箱抜きなしのタイプ <諸元> コンクリートブロックの厚さ: 250mm スタッドの径: 22×150 鉄筋: D16 スタッドピッチ: 110mm	
Type2 グループ配置 箱抜きあり	スタッドをグループ配置したもので箱抜きありのタイプ <諸元> コンクリートブロックの厚さ: 250mm スタッドの径: 22×150 鉄筋: D16 スタッドピッチ: 110mm 箱抜き部: 270mm×310mm	

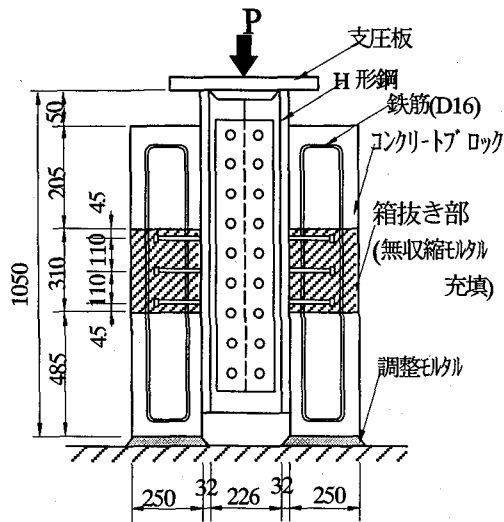


図4 試験方法(単位:mm)

コンクリートブロック(幅920mm, 厚さ250mm, 長さ1000mm)を取り付けたものである。スタッドはφ22×150を3本×3列の9本使用し、グループ部分の配置は道路橋示方書⁶⁾(以下、道示)を満足するように軸方向は110mm間隔で、軸直角方向は80mm間隔とした。供試体の種類は表-1に示すように、グループ部に箱抜きを設けないType1と箱抜きを設けたType2の2種類とし、各タイプ3体の合計6体を製作した。コンクリートおよび、無収縮モルタルの打設は実構造と同様にスタッドが正立した状態で行った。これは、コンクリートの打ち込み方向による影響をなくするためである⁷⁾。さらに、コンクリートと接触するH形部材のフランジ面には付着の影響を排除するため剥離剤を塗布した。

3.2 試験方法

荷重には容量10000kNの試験機を用いた。供試体は図4に示すように載荷面と支持面が平行を保ち、偏心荷重が生じないように調整モルタルを用いてセットされた。載荷要

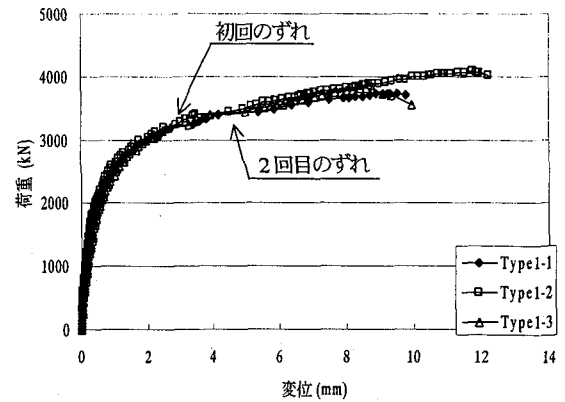


図5 Type1 荷重-相対変位曲線

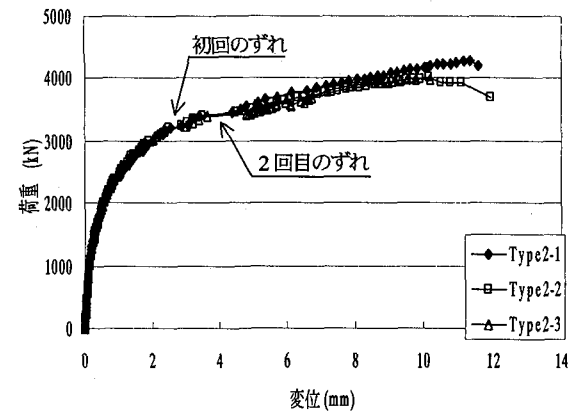


図6 Type2 荷重-相対変位曲線

領は最大変位が4mmまでは荷重制御による漸増繰り返し載荷とし、それ以降は、変位制御による単調増加の載荷を行った。なお、使用したコンクリートおよび無収縮モルタルの圧縮強度は、それぞれ57.4N/mm²および74.9N/mm²である。また、弾性係数は、それぞれ3.1×10⁴N/mm²および2.7×10⁴N/mm²である。

3.3 測定項目

試験結果の整理のために必要な測定項目を以下に示す。

- (1)最大せん断耐力(Q_{max})
押し抜き時における最大荷重。
- (2)降伏せん断耐力(Q_y)
荷重-相対ずれ関係におけるずれの急変点。急変点が明確でない場合、初期ずれ剛性を用いて、ずれ量0.2mmでオフセットしたときの荷重。
- (3)限界荷重(Q_k)
Viestが提案した残留ずれ量が0.075mmに達したときの荷重⁷⁾。
- (4)最大ずれ量(δ_{max})
荷重作用方向の相対変位で、最大せん断耐力到達時点に発生するずれ量。

3.4 結果と考察

(1)せん断耐力の評価

Type1およびType2の荷重-相対変位曲線を、それぞれ図

5および図-6に示す。初期勾配は箱抜きのないType1および箱抜きのあるType2とも同様であるが、2500kNを越えたところから変位量（ずれ量）の増加が大きくなっている。そして、Type1およびType2の両ケースとも3200kN程度で急激なずれ量の増大がみられ、このときのずれ量の増加は0.6mm程度である。さらに、3400kN程度で1.1mm程度の急激なずれ量の増加が再度発生している。これは、3段に配置された下段のスタッドの降伏が最初のずれで、中段のスタッドの降伏が2回目のずれであると考えられる。その後、荷重を増大させ、終局荷重の値はType1の平均で4087kN、Type2の平均で3875kNであった。

つぎに、スタッド1本あたりに換算したせん断耐力および限界荷重の比較を表-2に示す。スタッド1本あたりの最大せん断耐力は、箱抜きのないType1が平均で227kNに対し、箱抜きのあるType2が平均では215kNとType1より5%程度小さい値となった。これらの値に対しスイスでの実験における最大せん断耐力は210kNと、ほぼ同等である。一方、降伏せん断耐力および限界荷重はType2の方がType1に比べ5%程度大きい値となった。これは、スタッド周辺の無収縮モルタルの強度が大きいためであると考えられる。また、最大せん断耐力については、箱抜き部モルタルとコンクリートの界面からコンクリートのひび割れが発生したため、Type2の最大荷重がType1の最大荷重より低下したものと考えられる。

表-2 スタッド1本あたりのせん断耐力 (kN)

Type	最大せん断耐力	降伏せん断耐力	限界荷重	文献 ¹⁾ での最大せん断耐力
Type-1	227	108	85	210
Type-2	215	115	88	210

(2)破壊状況

試験体の破壊状況は、両ケースともスタッドの破断であった。

コンクリートのひび割れ状況については、箱抜き部無しタイプにおいてコンクリートのひび割れの発生がほとんど見られなかった。一方、箱抜き部有りタイプについては、主に箱抜き部の角よりコンクリートにのみひび割れが生じた。このひび割れは、最大荷重の約3/4程度に達したときに発生した。したがって、コンクリート部のひび割れはスタッドの降伏後に生じたスタッドの変形により生じたものであると考えられる。なお、無収縮モルタル部のひび割れは確認されなかった。

(3)各規準の比較

実験値と道示、鋼構造物設計指針 Part B 合成構造物⁹⁾（以下、Part B）および、EUROCORD4⁹⁾（以下、EC-4）による計算値との比較を表-3に示す。

道示で計算された許容せん断力と実験から得られた限界荷重および最大せん断耐力の比較では、Type1では計算値に対し限界荷重は平均で2.3倍、最大せん断耐力は6.6倍であった。Type2では限界荷重で2.2倍、最大せん断力で5.5

倍となった。つぎに、PART Bで計算された終局限界状態での水平せん断強度に対し、実験で得られた最大せん断耐力がType1で1.7倍、Type2で1.4倍であった。最後に、EC-4で計算されたせん断耐力に対し、実験から得られた最大せん断耐力がType1で3.3倍、Type2で3.1倍であった。

表-3 実験値と各規準の計算値との比較 (kN)

Type	計算値			実験値(平均値)	
	道示	PartB	EC-4	限界荷重	最大せん断力
Type-1	34	132	69	85	227
Type-2	39	151	69	88	215

4 疲労押し抜き試験

4.1 試験の概要

(1)概要

前節の実験結果より、グループスタッドにおける静的な水平せん断耐力に問題ないことがわかったが、疲労強度に対しては異なる可能性がある。そこで、グループスタッドの疲労特性を把握するため、先に実施した静的押し抜き試験の結果を基に疲労押し抜き試験を行った。

(2)供試体の種類と形状寸法

供試体の形状寸法は図-3に示した静的押し抜き試験供試体と同じである。供試体の種類は表-4に示すように2種類で、箱抜きのないType1が5体と箱抜きのあるType2が5体の計10体を製作し、応力振幅を100N/mm²～205N/mm²の間で5段階に区別した。

表-4 疲労供試体の種類

Type	応力振幅(N/mm ²)	荷重振幅(kN)
箱抜きなし	Type1-S205	205
	Type1-S175	175
	Type1-S145	145
	Type1-S125	125
	Type1-S100	100
箱抜きあり	Type2-S205	205
	Type2-S175	175
	Type2-S160	160
	Type2-S145	145
	Type2-S125	125

(注1)応力振幅は荷重振幅を全スタッドの断面積で除した値。

(注2)載荷荷重振幅の下限値は50kN

4.2 試験方法

試験方法は、図-4に示した静的押し抜き試験と同じとし、容量1000kNおよび2000kNの2種類のサーボジャッキを用いて2Hz～4Hzで疲労載荷を行った。また、鋼ブロックとコンクリートブロックの変位は図-7に示す位置で測定した載荷荷重は、静的載荷試験から得られた最大荷重4000kNを参考値とし、最大荷重の20%～35%程度の荷重を繰り返し載荷した。すなわち、荷重振幅で700kN～1400kN

を繰り返し载荷させ、1万回、3万回、5万回、10万回と順に破壊に至るまで定期的に変位を測定した。

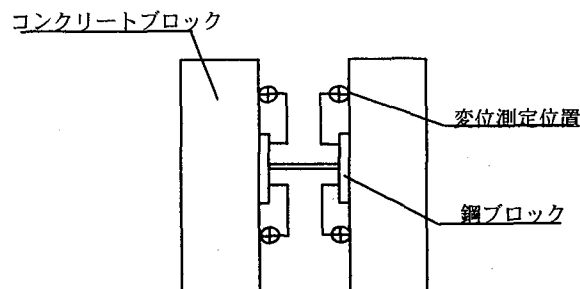


図-7 変位測定位置図

4.3 結果と考察

(1)破壊までの繰り返し回数

各供試体の破壊までの繰り返し回数を表-5に、S-N関係を図-8に示す。破壊までの繰り返し回数は応力振幅が 205N/mm^2 では4~7万回程度と低いが、応力振幅が $100\text{N/mm}^2 \sim 125\text{N/mm}^2$ では400万回を越える高い値となり、

表-5 疲労供試体の種類

Type		破壊までの繰り返し回数(万回)
箱抜きなし	Type1-S205	4.2
	Type1-S175	5.7
	Type1-S145	29.8
	Type1-S125	94.7
	Type1-S100	484.9
箱抜きあり	Type2-S205	7.6
	Type2-S175	17.7
	Type2-S160	91.9
	Type2-S145	183.8
	Type2-S125	418.5

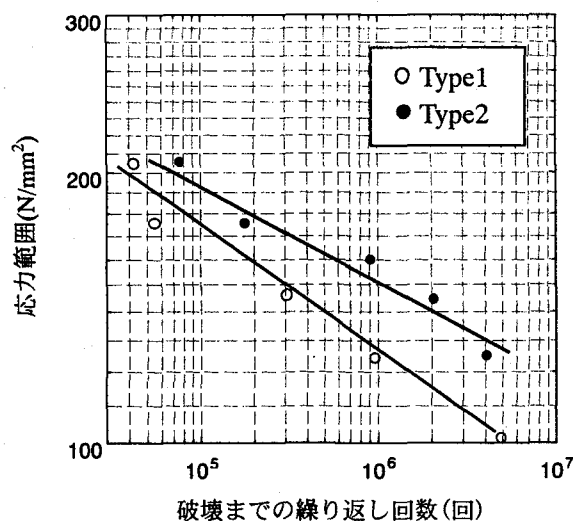


図-8 破壊までの繰り返し回数

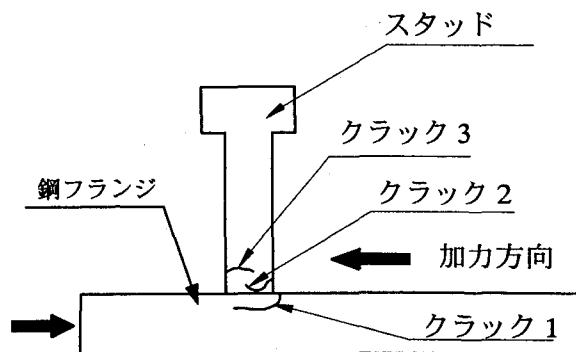


図-9 スタッドの破壊形式

十分な疲労耐久性を示していると考えられる。また、箱抜きのありなしで比較すると、箱抜きのあるType2が箱抜きのないType1よりも大きくなった。これは、コンクリートの弾性係数が無収縮モルタルの弾性係数よりも大きいことが要因であると考えられる。無収縮モルタルの圧縮強度は、コンクリートの圧縮強度より大きい、弾性係数で比較してみると、無収縮モルタルの弾性係数がコンクリートのそれよりも小さくなっている。疲労試験においては、弾性係数が大きいと、スタッドが変形しにくくなり、荷重が各段のスタッドに均等にかかるしくなると考えられる。したがって、最下段のスタッド根元部において応力集中が高まり、疲労クラックの発生が早まったものと考えられる。

(2)破壊状況

スタッドの破壊状況は、図-9に示すように、加力方向から発生し鋼フランジの母材をえぐり取るようなクラック1、加力方向から発生し、溶接余盛り上側よりスタッドの根元へ進展するクラック2、および加力方向の反対側のスタッド幹部に発生するクラック3の3種類があった。これは、応力が最も大きくなるスタッドの根元部、およびスタッドが最も変形する箇所においてスタッドの疲労クラックが発生するものと考えられる。これらのクラックの種類がどのような状況において発生したのかを以下に考察する。

まず、各供試体における破壊状況については、Type-1およびType-2の両ケースとも、応力振幅が大きいものではクラック2によりスタッドが破断しているケースが多く、応力振幅が小さいものでは、クラック1とクラック3による2段折れの破壊が多くみられた。ここで、応力振幅が 185N/mm^2 の箱抜きがないType1におけるスタッド破断面を写真1~写真3に示す。同写真より、疲労クラックがかなり進行した後、静的破壊に近い状況で破壊した。また、応力振幅が 185N/mm^2 の箱抜きがあるType2におけるスタッド破断面を写真4~写真5に示すが、同じ状況を示している。

つぎに、これをスタッドの配列段別に見ると、下段のスタッドでは疲労クラックの進展が大きく、上段のスタッドでは延性破壊域が大きかった。したがって、グループ配置されたスタッドは、加力方向の反対側、すなわち本供試体

静的(延性)破壊

疲労クラック

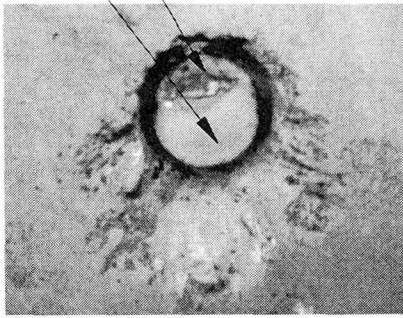


写真-1 上段スタッド破壊状況(Type1-S185)

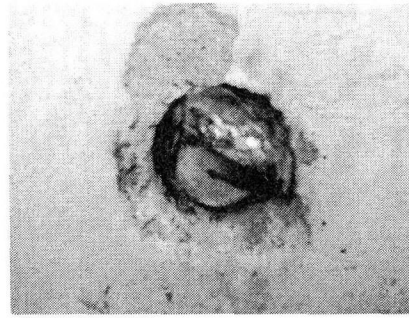


写真-4 上段スタッド破壊状況(Type2-S185)

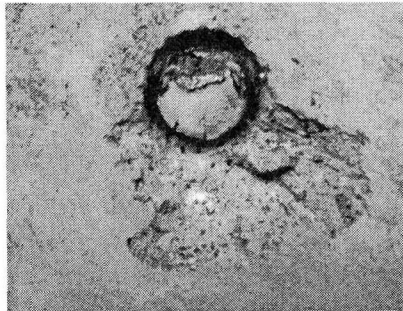


写真-2 中段スタッド破壊状況(Type1-S185)

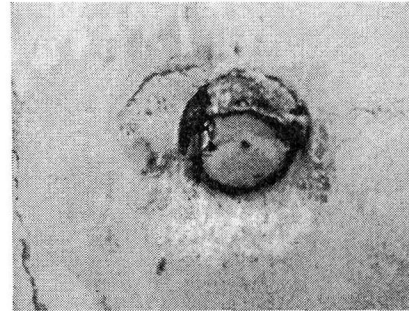


写真-5 中段スタッド破壊状況(Type2-S185)

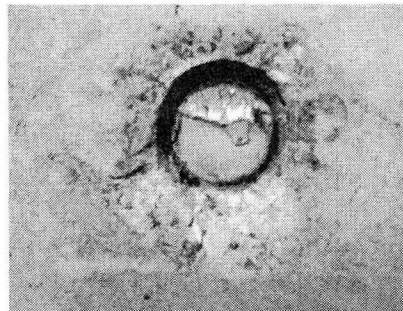


写真-3 下段スタッド破壊状況 (Type1-S185)

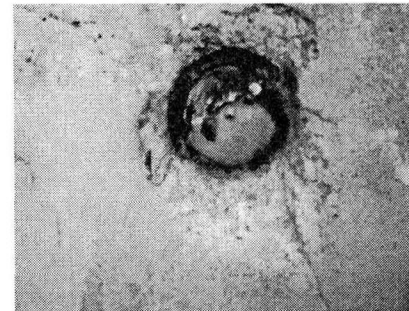


写真-6 下段スタッド破壊状況(Type2-S185)

の場合は最下段のスタッドが疲労の影響を一番強く受けると考えられる。

最後にスタッドの配列段別における破壊状況は、疲労クラックの進展状況に多少の差異はあるものの、上中下段とも繰り返し载荷によるクラックの進行が確認できた。スタッドをグループ配置した場合、中段に配置されたスタッドせん断力の負担が小さいと懸念されていたが、本実験により3段とも、多少の差異はあるものの、力を負担していることがわかった。

(3) ずれ量の進行状況

Type-1およびType-2のずれ量の進行状況を、それぞれ図-10および図-11に示す。Type-1およびType-2の両ケースとも、応力振幅が大きいケースでは繰り返し数が1万回ですでにずれ量が0.2mm程度に達し、ずれ量が0.3mm程度～0.4mm程度に達するとスタッドが破壊した。一方、応力振幅が小さいケースでは繰り返し数が1万回で0.1mm以下と

小さく、ずれ量が0.4mm～0.5mmと伸びて破壊した。すなわち、応力振幅が大きいほど、繰り返し数が少ない段階で破壊に近いずれ量が生じ、それほどずれ量が伸びることなく破壊を迎える。また、応力振幅が小さいほどずれ量が徐々に伸びて行き、破壊近くで急激にずれ量が進行しスタッドが破壊することがわかった。

つぎに、箱抜きがある場合とない場合のずれ量の差を比較すると、箱抜き部のないType1のほうが箱抜き部のあるType2よりも変位量が大きかった。これは、コンクリートの弾性係数が無収縮モルタルのそれより大きいことから、スタッドが変形しにくくなるためであると考えられる。

(4) コンクリートブロックのひび割れ状況

コンクリートブロックのひび割れは、箱抜きがないType-1ではほとんど発生していないが、箱抜きがあるType-2では箱抜き部周辺にひび割れが発生した。Type-2

での応力振幅が 185N/mm^2 のコンクリートブロックのひび割れ状況を図-12に示す。コンクリートのひび割れは箱抜き部の角部付近より発生し、押し抜き方向に対して 45° の角度で進展している。また、箱抜き部付近に鉄筋が配置されているが、その鉄筋に沿ってもひび割れが発生しているケースもあった。さらに、他のケースにおいては箱抜き部のモルタル部においてもひび割れが発生したものがあった。したがって、箱抜き部の角よりのひび割れを防止するには、箱抜き部の形状および先に打設したコンクリートとの付着方法、あるいは箱抜き部に充填するコンクリートの種類などを検討する必要がある。

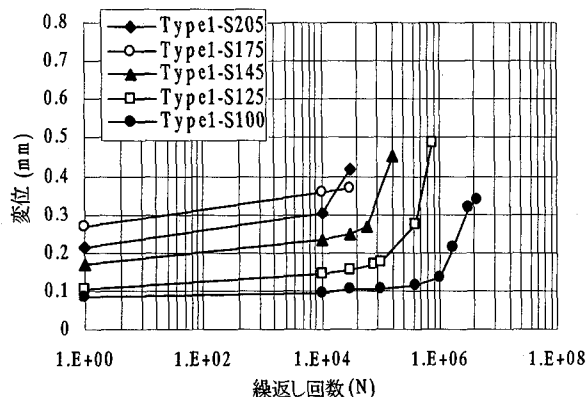


図-10 Type-1の変位

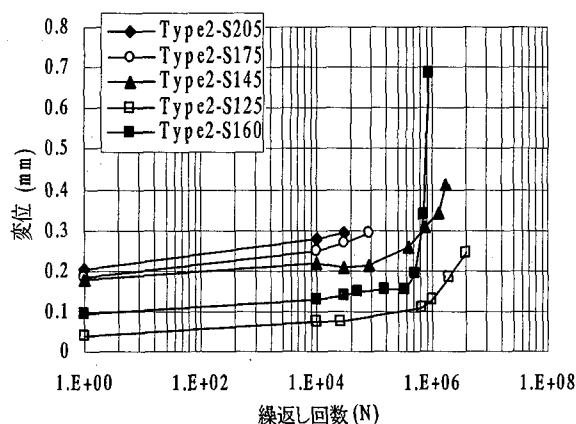


図-11 Type-2の変位

(5)各規準との比較

Part B, EC-4およびJSSCの鋼構造物疲労設計指針・同解説(以下, JSSC)¹⁰などの各規準で定められている疲労曲線と本試験で得られた結果を比較する。図-13に各規準におけるS-N曲線と今回の試験結果を示す。

まず、箱抜きなしのType1と箱抜きありのType2ではType2の方がType1を上回る結果となった。

つぎに、対象とした各規準との比較を行う。3つの規準の中で傾きが一番大きいJSSCと比較すると、繰返し回数が大きい範囲ではType-1およびType-2ともS-N曲線に開きがあり、本試験結果はJSSCでの値より高い疲労強度を示している。しかし、応力振幅が小さい範囲では両者は合致す

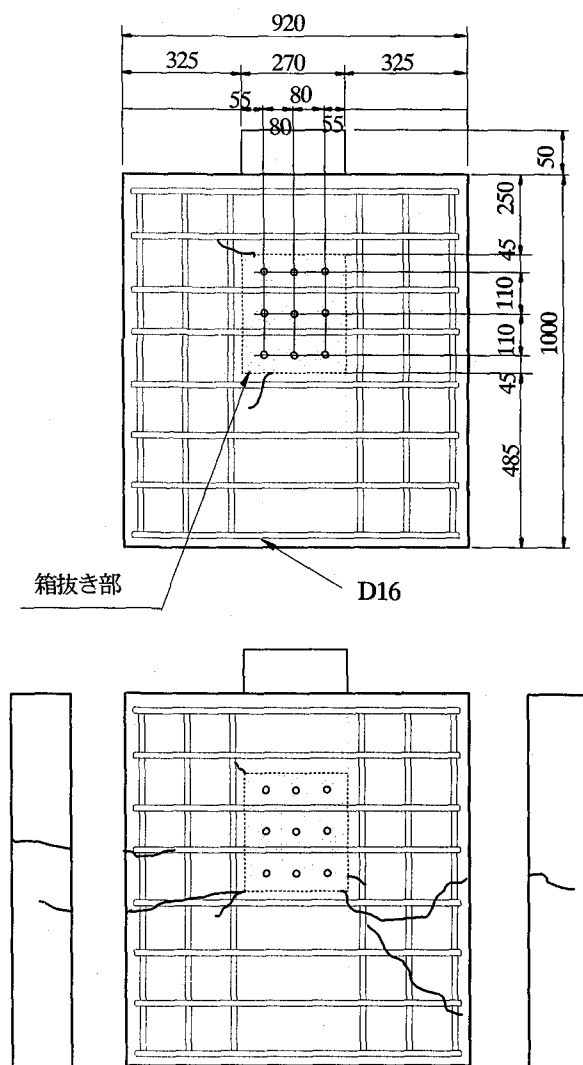


図-12 Type2-S205 ひび割れ状況図

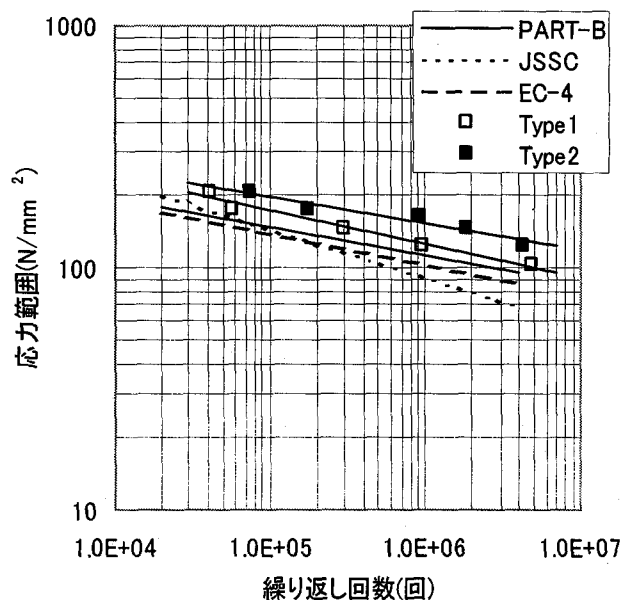


図-13 各規準でのS-N曲線との比較

る状況にある。PartBおよびEC4とを比較すると、S-N曲線の傾きは、Type1およびType2ともほぼ同じで、しかも値はそれらを上回っていることがわかる。したがって、スタッドをグループ配置した時の疲労性状に問題はなく、先の各規準の設計法を用いることで余裕のある疲労設計を行うことが可能であることがわかった。

5. 結論

以上にグループ配置したスタッドの静的および疲労押し抜き試験結果とその考察を報告した。本研究により得られた知見をまとめるとつぎのようになる。

- (1)静的押し抜き試験結果より、最大せん断耐力、降伏せん断耐力、および限界荷重については、箱抜きの有無に関わらず、ほとんど差異が見られなかった。また、最大ずれ量についても同様のことがいえる。
- (2)静的押し抜き試験から得られたせん断耐力と道示、Part B、およびEC4のいずれの規準からの計算値を比較した結果、スタッドをグループ配置した合成桁橋の設計が十分可能であることがわかった。特に、Part Bにおける設計終局耐力と比較した場合、箱抜きなしでの測定値は計算値の1.7倍程度となった、箱抜きありでは1.4倍程度であった。
- (3)スタッド配置部に箱抜き部を設けない Type1 と箱抜き部を設けた Type2 における疲労強度は、スタッド周辺のコンクリートまたはモルタルの弾性係数の違いにより Type2 が全体的に大きいという傾向が得られた。また、応力振幅が $100\text{N/mm}^2 \sim 125\text{N/mm}^2$ 程度においては、破壊までの繰返し回数が 400 万回を越える結果となり、十分な疲労強度を有することが認められた。
- (4)スタッドの疲労破壊パターンは、スタッド根元部の破壊、スタッド溶接余盛り部の破壊、およびスタッド幹部の破壊の3種類が確認された。応力振幅が大きいものはスタッド溶接余盛り部の破壊が多く、応力振幅が小さいものは、スタッド根元部の破壊とスタッド幹部の破壊が多くみられる。
- (5)ずれ量の進行は応力振幅が大きいほど、繰返し数が少ない段階で破壊に近いずれ量が生じ、それほどずれ量が進展することなく破壊に至る。また、応力振幅が小さいほどずれ量が徐々に進行し、そのずれ量が 0.2mm 程度に

達すると、急激にずれ量が進行しスタッドが破壊する。
(6)各規準によって定められた疲労曲線の値と比較した結果、グループ配置したスタッドの疲労性状は、いずれの規準よりも疲労強度が大きいことがわかった。したがって、それらの規準を用いることでグループ配置したスタッドの設計は可能であると考えられる。

本研究によりグループ配置されたスタッドの静的および疲労特性が明らかになり、設計・施工が十分可能であることが確認できた。しかし、今後実用化に向けての合理的なスタッドのグループ構成や箱抜き部の構造詳細など、検討事項は残されているため、さらに検討を進める必要があると考えている。

参考文献

- 1)Jun Okada・Jean-Paul Lebet:STRENGTH AND BEHAVIOR OF GROUPED STUD CONNECTORS, COMPOSITE AND HYBRID STRUCTURES, Vol 1, 2000.8.
- 2)大久保宣人,栗田章光,中島星佳,小松恵一:合成桁のスタッドグループ配置に関する実験的研究,鋼構造年次論文報告集,第8巻,pp493-500,2000.11.
- 3)中島星佳:スタッドをグループ配置した合成桁の力学性状,大阪工業大学修士学位論文,2001.1.
- 4)Jean-Paul Lebet,(訳) 橋 吉宏・長井正嗣:スイスにおける合成桁橋,橋梁と基礎 Vol.34 No.3,pp37-46,2000.3.
- 5)(社)日本鋼構造協会:頭付きスタッドの押し抜きせん断試験方法(案)とスタッドに関する研究の現状,1996.11.
- 6)(社)日本道路協会:道路橋示方書・同解説Ⅰ 共通編,Ⅱ 鋼橋編,丸善,1996.12.
- 7)赤尾親助・栗田章光・平城弘一:頭付きスタッドの押し抜き挙動に及ぼすコンクリートの打ち込み方向の影響,土木学会論文集 No.380 I-7, pp.311-320, 1987.4.
- 8)鋼構造シリーズ⑨B, 鋼構造物設計指針 Part B 合成構造物,1997.3.
- 9)CEN: Eurocord 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures Part2: Bridges, ENV1994-2, 1997.12.
- 10)(社)日本鋼構造協会:鋼構造物の疲労設計指針・同解説,技報堂出版,1993.4.

(2001年9月14日受付)