

カップラージョイントスタッドの実験的研究

石川 敏之¹⁾ 高瀬 和男²⁾

近年、日本道路公団 第二東名高速道路 中之沢橋をはじめ PC 床版鋼 2 主桁橋では床版厚が厚く通常のスタッドよりも長尺なスタッドが用いられている。2 主桁橋は主桁高さが高くスタッドを用いる場合、輸送により高さが制限される。そのため、PC 床版鋼 2 主桁橋ではスタッド軸部をカップラーで継ぐカップラージョイントスタッドが用いられている。しかし、カップラージョイントスタッドは通常のスタッドと形状が異なるため、せん断耐力、疲労強度などの特性が明らかにされていない。そこで、本研究では既往のずれ止めの研究を調査し、それらを基にカップラージョイントスタッドの基礎的実験を行い、カップラージョイントスタッドのせん断耐力、疲労強度の特性を明らかにした。

キーワード：ずれ止め、カップラージョイントスタッド、せん断耐力、疲労強度

まえがき

近年、鋼道路橋に鋼・コンクリート合成橋梁が盛んに取り入れられている。鋼・コンクリート合成橋梁は、鋼とコンクリートをずれ止めを用いて合成させるため、鋼とコンクリートの接合強度、すなわちずれ止めのせん断耐力が大きな問題の一つとして挙げられる。現在までに、種々のずれ止めが提案されており¹⁾、それらのせん断耐力、疲労強度が実験により明らかにされている。道路橋示方書・同解説²⁾（以下、道示）Ⅱ-9.5 合成げた「ずれ止め」では、頭付きスタッドジベル（以下、スタッド）が標準として定められており、実橋の合成桁でもスタッドが数多く用いられている。スタッドを合成桁のずれ止めに用いることにより鋼とコンクリートとの間のせん断力の伝達が充分になされていることが既往の研究で明らかにされている³⁾。

現在、日本道路公団 第二東名高速道路で建設が進められている中之沢橋（PC 床版鋼 2 主桁橋）

では、鋼桁と PC 床版とのずれ止めに図-1に示すカップラージョイントスタッドが用いられている⁴⁾。PC 床版鋼 2 主桁橋では、主桁上の床版厚が厚くなるため、スタッドを長くする必要のあることより長尺なスタッドが用いられている。さらに、2 主桁橋は多主桁よりもウェブ高さが高くなり、スタッドを工場溶植すると輸送制限高さを超える等の影響により、スタッドを分割した構造としている。このようにカップラージョイントスタッドは通常のスタッドの形状と異なるため、せん断耐力、疲労強度が明らかでない。そこで、本研究では、

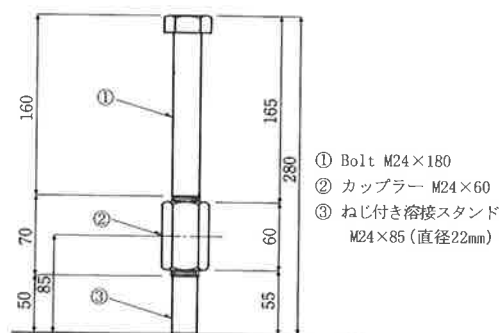


図-1 カップラージョイントスタッド

まず初めに既往のずれ止めの研究に着目し、その実験方法、研究結果を調査し、それらについて概略を述べる。つぎに、第二東名高速道路で採用されているカップラージョイントスタッドについて、既往の研究内容を踏まえ基礎的実験を行い、その結果について述べる。

1. ずれ止めの種類

現在、鋼とコンクリートとの接合には種々のずれ止めが提案されている。ずれ止めは大きく大別すると「剛なずれ止め」と「柔なずれ止め」に分類できる。ずれ止めの力学的特性については多くの研究がなされてきており、施工の容易さ、経済性および実績の多さからずれ止めにスタッドが多く用いられている。本章では、ずれ止めの種類とその特徴を端的に述べる。

(1) 剛なずれ止め

日本で最初の合成桁示方書である、「鋼道路橋の合成ゲタ設計施工指針」³⁾では、鋼桁と床版との接合にアングルやチャンネル形鋼を切断し鋼桁に溶接したずれ止めや、角鋼ブロックに輪形筋を取り付けたずれ止めなど、現行のスタッド以外に剛なずれ止めが規定されていた。これらは、鋼桁と床版との間の水平せん断力に伴い発生するずれ止めの支圧力が一定であり（図-2(a)）、水平せん断力に対して充分せん断耐力がある。しかし、鋼桁との溶接に手間が掛かるなどの問題もある。近年では、鋼に溶接された孔明きの鋼板をコンクリートに埋め込んで水平せん断力を伝える剛なずれ止めも盛んに研究⁴⁾されており、経済的な剛

なずれ止めの開発がなされている。

(2) 柔なずれ止め

現在、道示ではずれ止めにスタッドを規定している。スタッドは柔なずれ止めに分類され、剛なずれ止めよりも曲げ剛性が低く、さらに鋼桁と床版との間の水平せん断力に対してずれ止め自体が変形し、鋼桁と床版との間の水平せん断力を伝達する。そのため、剛なずれ止めよりも多く配置する事により、鋼とコンクリートとの間の水平せん断力を伝達している。スタッド以外に柔なずれ止めとしては、溝形鋼を用いたずれ止め、異形鉄筋を溶接したずれ止め、高力ボルトを用いたずれ止めなどが提案されている。これら柔なずれ止めは、鋼桁と床版との間の水平せん断力に伴うずれ止めの支圧力が一定でなく、根元部に支圧力が集中する（図-2(b)）。

2. 既往のずれ止めの試験

(1) ずれ止めの試験体の形状

ずれ止めの特性を表す指標として、せん断耐力、ずれ定数 K 、最大変位および疲労強度等がある。これらを確認する試験方法は、ずれ止めの押抜き試験、押抜き疲労試験が一般的である。さらに、桁作用の影響も考慮して、実橋の縮小モデルを用いた桁の試験を行う場合もある。既往の研究では、2種類の押抜き試験体が主に用いられてきた（図-3）。一つは H 形鋼の両側にコンクリートブロックを有するタイプ（TYPE-I）、もう一つは H 形鋼の片側にのみコンクリートブロックを有するタイプ（TYPE-II）である。TYPE-I は、押抜き

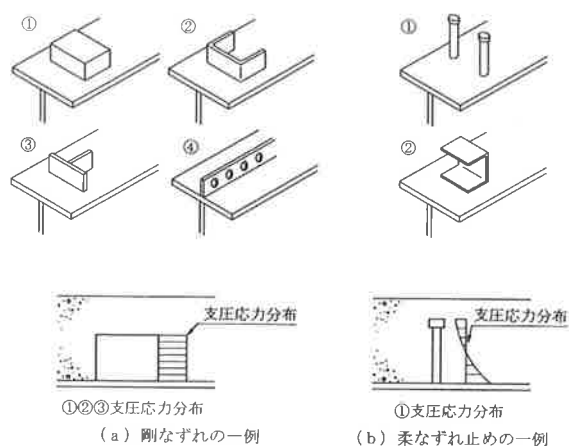


図-2 ずれ止めの種類と支圧応力分布

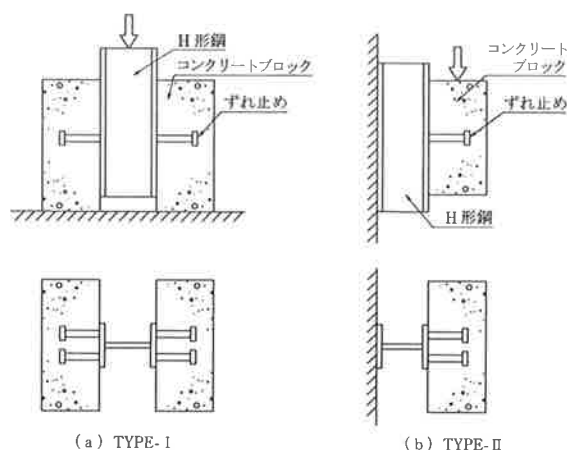


図-3 ずれ止めの試験体

試験, 押抜き疲労試験に用いられている。このタイプは, H 形鋼の両側にコンクリートブロックがあるため, ずれ止めに純せん断力が作用し, ずれ止めの純せん断耐力を明らかにすることができる。この試験体が世界中で最も一般的なタイプであり, わが国でも日本鋼構造協会「頭付きスタッドの押抜き試験方法(案)」⁷⁾(以下, JSSC 試験法)がそれに準じている。TYPE-II は, 主に 1960 年代に Fisher, J.W. らが行った疲労試験に用いられている⁸⁾。このタイプはコンクリートブロックに作用する荷重の偏心量が大きくなり, ずれ止めにはせん断力と軸引張力が同時に作用する。そのため, ずれ止めの疲労強度が TYPE-I と比べて著しく低下する。

ずれ止めのせん断耐力および疲労強度に影響を与える因子の一つとして, コンクリートの打込み方向が挙げられる⁹⁾。コンクリートの打込み方向により, ずれ止め周辺のブリージングや, コンクリートの充填状態が異なり, それらがずれ止めのせん断耐力および疲労強度に影響を与える。そのため, 実構造物のコンクリートの打込み方向とずれ止めとの関係を保った試験体を製作する必要がある。

(2) ずれ止めの試験方法

わが国のずれ止めの試験方法は, JSSC 試験法が一般的である。JSSC 試験法はスタッドの試験法であるが, それ以外のずれ止めにも同様な方法が利用されている場合が多い。JSSC 試験法はコンクリートの打込み方向が実構造物と同じ方向と規定されており, コンクリートブロックのタイプは TYPE-I である。鋼とコンクリートとの付着による影響を無くするため鋼とコンクリートの接触面にグリース等の剥離剤を添付する。スタッドの押抜き試験の場合は, 回転が生じないように片側フランジに 2 本(水平に 1 列)スタッドを溶植した供試体を用いて実験を行う。スタッドの押抜き疲労試験も同様な試験体を用い, 圧縮側の片振り荷重の疲労試験が行われている。JSSC 試験法では, 押抜き試験の荷重は少なくとも 1 体は載荷・除荷を繰り返す漸増載荷としている。

EUROCODE¹⁰⁾のスタッドの試験方法も, コンクリートの打込み方向, コンクリートブロックのタイプ, 鋼とコンクリートの接触面にグリース等を添付するなど, JSSC 試験法と同じである。た

だし, スタッド本数は JSSC 試験法の試験体とは異なり, 片側フランジに 4 本(水平に 2 列)のスタッドを溶植する。疲労試験も同様な試験体を用いて行う。押抜き試験の荷重は, 最初に予測破壊荷重の 40%以上の荷重を載荷し, その後, 予測破壊荷重の 5%~40%の間で 25 回の繰返しを行う。引き続き 15 分以上かけて破壊させるように荷重を載荷すると規定されている。

近年, 日本においても, 群スタッドの挙動に着目し, JSSC 試験法の 1 列配置だけではなく, 多列配置の実験が行われている¹¹⁾。スタッドが多列になった場合, せん断力がそれぞれのスタッドに均等に作用しなくなり, その結果, スタッドのせん断耐力が低下すると報告されている¹²⁾。さらに, スタッド軸方向に軸力を導入した押抜き試験方法¹³⁾や, 正負の荷重の繰返しを与える疲労試験¹⁴⁾などが行われている。

(3) スタッドの既往の実験結果

先にも述べたように, 現在, 最も多く利用されているずれ止めはスタッドである。実験についてもスタッドの押抜き試験, 押抜き疲労試験が数多く行われてきた。本節ではスタッドに着目し, スタッドの既往の試験結果について示す。

1) スタッドのせん断耐力

過去の試験結果について対数型重回帰分析によって, 統計的にスタッドのせん断耐力は次式で与えられている^{15), 16)}。

$$\begin{aligned} Q_u &= 11.5dH\sqrt{\sigma_{ck}} & (H/d < 5.5) \\ Q_u &= 63d^2\sqrt{\sigma_{ck}} & (H/d \geq 5.5) \end{aligned} \quad (1)$$

ここに,

Q_u : スタッド 1 本のせん断耐力 (N/本)

σ_{ck} : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

d : スタッドの直径 (mm)

H : スタッドの高さ (mm)

ここで, 道示に規定されているスタッドの許容せん断力を次式に示す。

$$\begin{aligned} Q_u &= 1.72dH\sqrt{\sigma_{ck}} & (H/d < 5.3) \\ Q_u &= 9.4d^2\sqrt{\sigma_{ck}} & (H/d \geq 5.5) \end{aligned} \quad (2)$$

道示では, 許容せん断力はせん断耐力の 6 倍以上の安全率を有していると示されている。式(1)と式(2)との比は 6.7 となり, 式(1)は道示に示されている安全率を満足している。

2) スタッドの疲労強度

過去の試験結果について対数型重回帰分析によって、統計的にスタッドの疲労強度は次式で与えられている¹⁷⁾。

$$\log N_i = 1.02 - 9.52 \log (\Delta Q / Q_u) \quad (3)$$

ここに、

N_i : 繰返し回数

ΔQ : スタッド1本に作用する繰返し荷重範囲 (kN/本)

3. カップラージョイントスタッドの実験

(1) カップラージョイントスタッドの構造

日本道路公団 第二東名高速道路 中之沢橋 (PC 床版鋼 2 主桁橋) の鋼桁と PC 床版とのずれ止めには、鋼桁の輸送可能高さへの対応、せん断耐力に影響を及ぼす溶植部の品質管理の面から、カップラージョイントスタッドが利用されている。カップラージョイントスタッドは、図-1に示しているように、スタッドをねじ付き溶接スタッド部、カップラー部、ボルト部の 3 パーツに分割し、ねじ付き溶接スタッド部は工場で溶植し、カップラー部とボルト部を現場で接合する。このような形状であるため、ねじ付き部は架設横構の定着や、移動型枠を用いた施工を行う場合の型枠支保工の固定に用いる事ができる。

カップラージョイントスタッドは、通常のスタッドと形状が異なるため、カップラーの位置、ねじ切り長さなどの構造に配慮する必要がある。カップラーの位置については、スタッド根元部のコンクリートの充填およびスタッドの変形状態を損ねないような位置に配置している。カップラー部の位置がスタッドの変形状態、根元部のせん断耐力に影響を与えていないことを弾性有限要素解析結果により確認している (図-4)。ねじ付き溶接スタッド部は疲労耐久性を考慮して、スタッド根元部までねじ切り加工を行わない構造としている。

上述の様にカップラージョイントスタッドは、通常のスタッドの形状と異なるため、せん断耐力、疲労強度が明らかでない。そこで、カップラージョイントスタッドの基礎的実験を行い、そのせん断耐力、疲労強度を明らかにする。

(2) カップラージョイントスタッドの試験体

試験体の製作は、JSSC 試験法に基づいて行っ

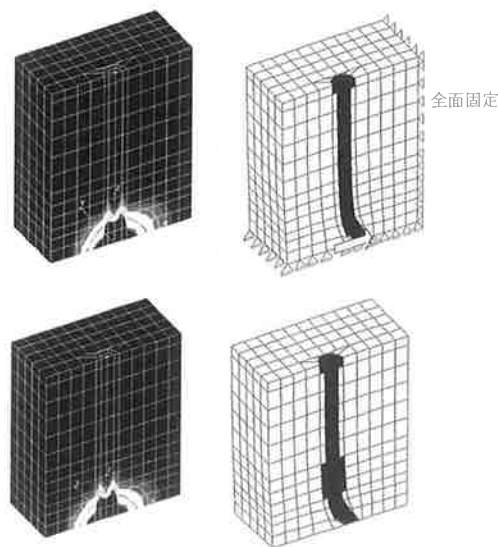


図-4 スタッドの有限要素解析

た。スタッドの配置は、JSSC 試験法 (スタッド間隔 100 mm) による試験体と中之沢橋のスタッド配置 (スタッド間隔 200 mm) の試験体を用いた。鋼とコンクリートとの境界面の付着の有無による違いについても確認できるようにした。コンクリートブロック部分は、中之沢橋のフランジ上のコンクリート床版厚とした。コンクリートブロックの寸法は、供試体 A グループ 560×600×550 mm, 供試体 B グループは 560×800×600 mm とした。主桁の端支点部ではスタッドの配置が密になるため、列方向がカップラージョイントスタッドのせん断耐力に与える影響について確認できる供試体とした。これは、EUROCODE では 2 列配置の試験体が規定されていること、さらに列配置のスタッドのせん断耐力が 1 列配置でのスタッドのせん断耐力よりも低下すると報告¹⁸⁾されているためである。スタッド配置は 2 列, 3 列, 4 列配置の実験を行った。鋼とコンクリートの付着面については、JSSC 試験法で示されている全面剥離に加え、付着を全面有効にした供試体、さらにスタッドが受け持つ水平せん断力の範囲を付着させた供試体を用意した。供試体の一覧を図-5に示す。

疲労試験についても、スタッド配置が密な端支点付近に着目しているためスタッドの列方向の影響を考慮した試験体を用意した。さらに、多列配置のスタッドの疲労の影響を確認するために最大 4 列配置のスタッドの疲労試験供試体を用意した。

供試体のコンクリート打込み方向は JSSC 試験法に従い、実橋と同じ方向 (正立¹⁹⁾) とした。使用するスタッドは中之沢橋で用いられているカッ

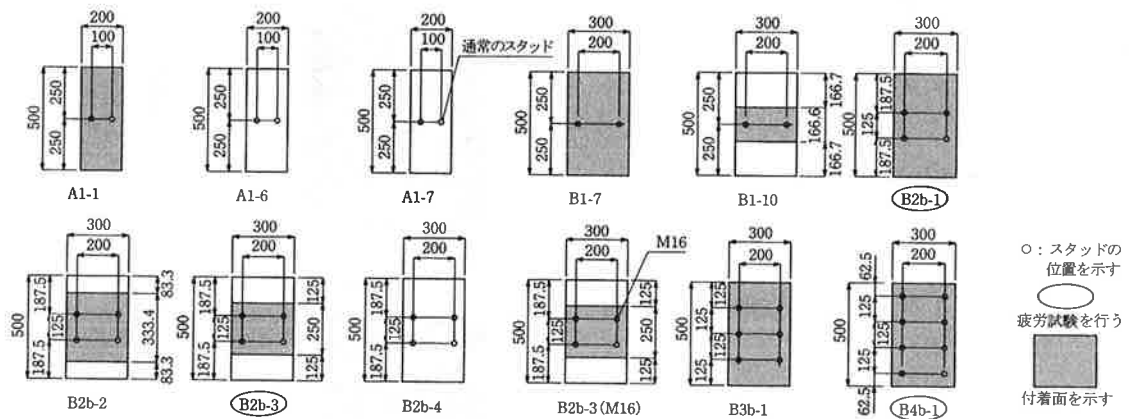


図-5 実験供試体のスタッド配置および付着面形状

プラージョイントスタッドに加え、さらにそれと同じ寸法を有する通常のスタッドの試験も行った。使用するコンクリートは PC 床版用コンクリート（圧縮強度 40N/mm^2 ）とし、日本道路公団 土木工事共通仕様書¹⁸⁾に従って配合した。H 形鋼は SM490Y 材を用いた。鋼とコンクリートとの接触面は自然付着を考慮した条件（素地調整程度 G-a, 機能性プライマー）¹⁹⁾となるように表面処理を施した。さらに鋼とコンクリートとの人工剥離は、鋼フランジに紙製のクラフトテープを貼付し、その上にグリスを添布することで人工剥離させた。表-1に材料試験結果を示す。

表-1 材料試験結果

(a) コンクリートの強度試験結果

No.	材令 (日)	養生	圧縮強度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	ポアソン比	ヤング係数 (N/mm^2)
1	7	水中	43.3	3.78	—	—
2	28	水中	50.6	4.59	—	—
3	28	気中	47.5	3.06	0.180	2.88×10^7
4	89	気中	49.4	3.65	0.186	2.91×10^7

(b) 鋼部材の引張試験結果

	鋼種	板厚 (mm)	試験片形状	降伏点 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	伸び (%)
フランジ	SM490YB	28	JIS Z 2201 1A	398	540	31
ウェブ	SM490YB	20	JIS Z 2201 1A	420	547	27

(c) スタッドの材料試験結果

スタッド寸法	降伏点 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	破断位置 (3本)	伸び (%)	曲げ試験 (3体)
M24×85×3SS	—	458	3-軸部	—	割れなし
M16×85×3SS	—	531	2-軸部, 1-ねじ部	—	割れなし
D22×280	308.0	447	3-軸部	34.2	割れなし

(3) 実験方法および測定項目

静的押抜き試験は JSSC 試験法に基づき、荷重の載荷・除荷を繰り返す漸増載荷とした。載荷は 392kN までは荷重制御 ($19.6 \sim 49\text{kN}$ ピッチ)、それ以降は変位制御 ($0.2 \sim 0.5\text{ mm}$ ピッチ) とし JSSC 試験法に従った増分範囲とした。

タイプ A シリーズの静的載荷および押抜き疲労試験には、日本道路公団 定点載荷疲労試験機（静的最大荷重 $\pm 1470\text{kN}$ 、動的最大振幅 980kN ）を使用した。タイプ B シリーズの静的押抜き試験は建設機械化研究所 大型疲労試験機（静的最大荷重 $\pm 5880\text{kN}$ 、動的最大振幅 3920kN ）を使用した。

押抜き疲労試験は、中之沢橋の設計で用いた活荷重範囲、さらに式(3)の S-N 関係を用いて算出した荷重範囲（以後、終局荷重範囲）を圧縮側の片振りで繰返し載荷した。荷重比 R は中之沢橋の設計で用いた合成後死荷重と活荷重+合成後死荷重との比 ($R=0.266$) とした。繰返し回数の上限は 200 万回とした。

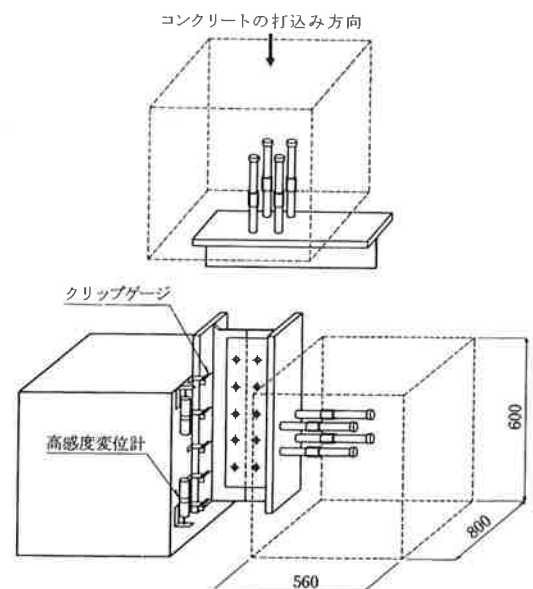


図-6 コンクリート打込み方向と実験供試体

計測は鋼とコンクリートが接する 4 辺の上下端の鋼とコンクリートとの相対ずれを高感度変位計およびクリップ形変位計を用いて計測した。計測機器の取付け位置を図-6に示す。

(4) 静的押抜き試験結果

静的押抜き試験結果を表-2に示す。表-2には、最大荷重 P_{max} 、スタッド 1 本当たりのせん断耐力 Q_u 、せん断耐力比 Q_u/Q_a 、付着荷重、降伏荷重 Q_y 、降伏荷重比 Q_y/Q_a 、最大変位 δ_{max} 、ずれ定数 K を示している。

せん断耐力 Q_u は最大荷重 P_{max} をスタッドの本数で除した値である。せん断耐力比はせん断耐力 Q_u をコンクリートの設計基準強度を用いて算出した道示のスタッドの許容せん断力 Q_a (式(2)よ

り算出)で除した値である。付着荷重は、荷重と変位の関係が急変した変曲位置の荷重とした。降伏荷重 Q_y は JSSC 試験法に示されている 0.2 mm オフセットで求めた (図-7)。降伏荷重比はせん断

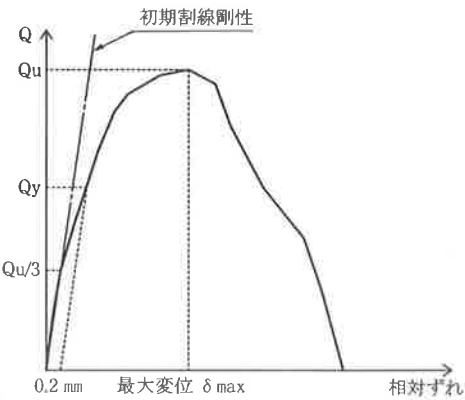


図-7 初期割線剛性と最大変位

表-2 スタッド実験結果一覧

供試体	スタッド形状 ^(注)	スタッド本数 N(本)	スタッド高さ H(mm)	付着面形状縦×横(mm)	最大荷重 Pmax(kN)	せん断耐力 Qu(kN/本)	せん断耐力比 Qu/Qa	付着荷重 (kN)	降伏荷重 Qy(kN/本)	降伏荷重比 Qy/Qa	最大変位 δmax (mm)	ずれ定数 K (kN/mm/本)
A1-1	①	4	280	500×200	1107	277	9.7	98	119	4.2	8.02	322.7
A1-6	①	4	280	0×0	1033	258	9.1	—	98	3.4	10.08	215.9
A1-7	②	4	280	0×0	829	207	7.3	—	77	2.7	20.41	164.0
B1-7	①	4	280	500×300	1006	252	8.9	196	143	5.0	9.04	675.7
B-10	①	4	280	167×300	901	225	7.9	78	125	4.4	8.27	490.9
B2b-1	①	8	280	500×300	1694	212	7.5	216	134	4.7	11.11	742.9
B2b-2	①	8	280	333×300	1695	212	7.5	216	127	4.5	6.64	724.7
B2b-3	①	8	280	250×300	1846	231	8.1	137	128	4.5	8.06	584.3
B2b-4	①	8	280	0×0	1629	204	7.2	—	107	3.8	8.55	347.6
B2b-3M16	③	8	280	250×300	873	109	8.8	118	67	5.4	5.74	494.0
B3b-1	①	12	280	500×300	2269	189	6.7	177	123	4.3	6.06	462.2
B4b-1	①	16	280	500×300	3526	220	7.8	275	138	4.8	6.94	533.4

注) ①: M24 カップラージョイントスタッド, ②: D22 剪付きスタッド, ③: M16 カップラージョイントスタッド

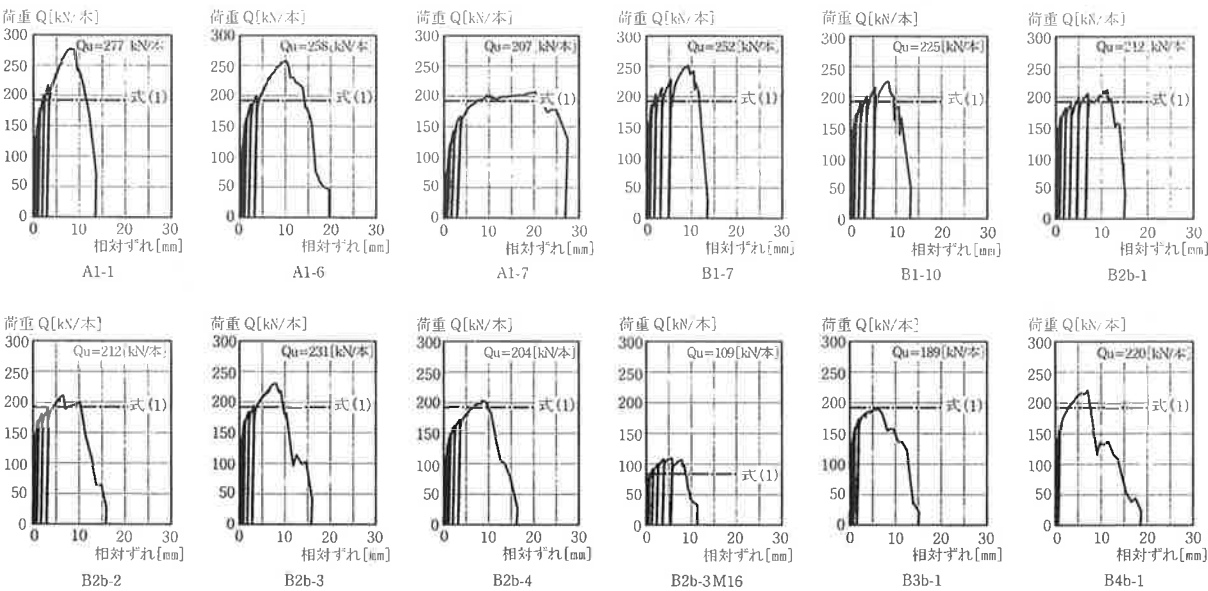


図-8 荷重と相対ずれとの関係

耐力比と同様に Q_v を Q_u で除した値である。最大変位 δ_{mx} は Q_u 発生点での相対ずれを示している。ずれ定数 K は図-7に示すようにせん断耐力 Q_u の 1/3 倍の荷重点での初期割線剛性を示す。

1) 押抜き試験結果

図-8に荷重と相対ずれとの関係を示す。同図に式(1)によるせん断耐力を示している。試験の結果、供試体 B3b-1 を除いた全ての試験体において、式(1)によるせん断耐力を有していることが確認できた。

図-9にカップラージョイントスタッドを用いた供試体 A1-6 と通常のスタッドを用いた供試体 A1-7 との比較を示す。この図より、カップラージョイントスタッドと通常のスタッドでは、最大荷重の大きさおよび最大荷重発生以後の相対ずれの収束度合いに相違が見られた。これは、通常のスタッドは D22 であるのに対し、カップラージョイントスタッドはねじ付きスタッド溶接部の軸部の直径は 22 mm であるが、カップラーおよびボルトは M24 であるため通常のスタッドよりも剛性が高い。したがって、カップラージョイントスタッドと通常のスタッドとは終局時の変形状態が異なると考えられる。しかし、カップラージョイントスタッドは通常のスタッドよりもせん断耐力が大きいいため、通常のスタッドの設計法を用いても良いといえる。

図-10にせん断耐力と橋軸直角方向スタッド間隔との関係を示す。この図より、橋軸直角方向間隔が広がると、せん断耐力が低下する。これは、スタッドの間隔を広くすることにより、それぞれのスタッドに均一に力が作用しないためであると考えられる。したがって、実橋でのスタッド間隔を用いた実験を行うのが望ましいとい

いえる。

図-11にせん断耐力と橋軸方向スタッド列数多い供試体のせん断耐力は、スタッドが一行配置の供試体のせん断耐力よりも低下している。これは、個々のスタッドに均等にせん断力が作用しないため、せん断耐力が低下したと考える。したがって、端支点付近のように密なピッチで配置されているスタッドのせん断耐力は、多列（もしくは群）の挙動を考慮したせん断耐力を用いることが適切であると考えられる。

ずれ定数 K とスタッド 1 本当たり付着面積の関係を図-12に示す。この図より、付着面積が増加するとずれ定数 K が増加する傾向があるといえる。

2) 押抜き疲労試験結果

押抜き疲労試験結果を表-3、図-13に示す。縦軸に荷重範囲 ΔQ (ΔP /スタッド本数)、横軸に繰返し回数 N_i を示している。疲労発生寿命 N_i は、残留ずれが大幅に変化したときの繰返し回数を用いている。同図に、式(3)の S-N 曲線を示している。式(3)の Q_u の値は、実験結果より 2 列配置の供試体 B2b-1 ~ 4 の 4 体のせん断耐力の平均値 ($Q_u=215\text{kN/本}$) を用いてい

表-3 疲労試験結果一覧

供試体 (スタッド本数)	荷重 ケース ⁽¹⁾	上限荷重 Pmax (kN)	下限荷重 Pmin (kN)	荷重範囲 ΔP (kN)	繰返し 回数 N_i (cycle)	備考
B2b-1F (8 本)	①	202.0	53.9	148.1	2×10^6	—
	②	404.0	107.9	296.2	2×10^6	—
	③	660.0	175.5	484.4	2×10^6	—
B2b-3F (8 本)	①	202.0	53.9	148.1	2×10^6	—
	③	931.6	248.1	683.5	501,112	疲労破断
B4b-1F (16 本)	①	404.0	107.9	296.2	2×10^6	—
	②	808.0	215.8	592.4	2×10^6	—

注) ①：活荷重範囲，②：2倍の活荷重範囲，③：終局荷重範囲

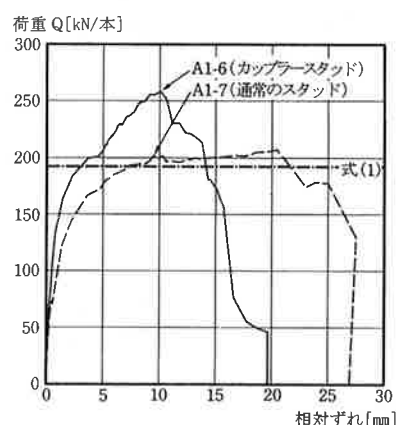


図-9 カップラーによる影響

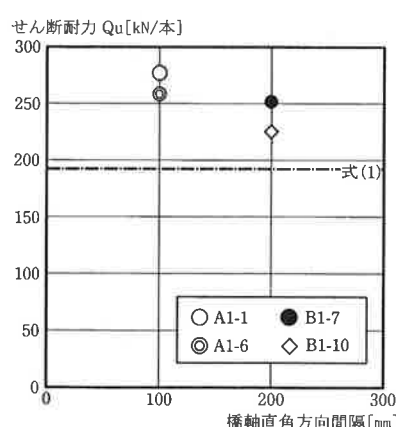


図-10 橋軸直角方向間隔の影響

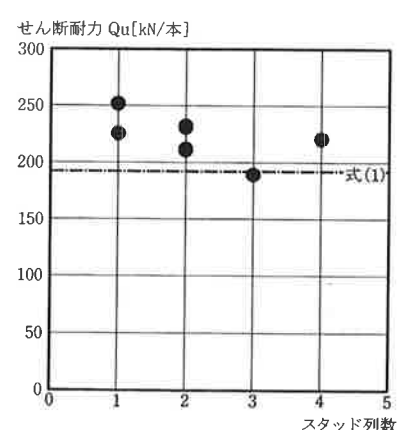


図-11 スタッド列数による影響

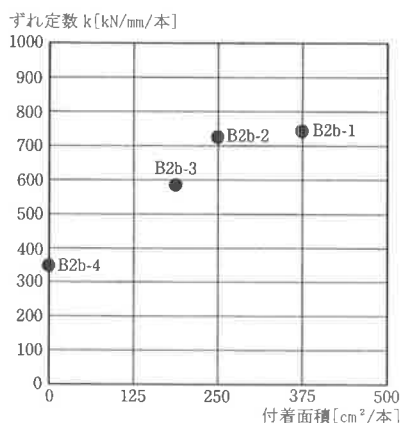


図-12 ずれ定数Kと付着面積の関係

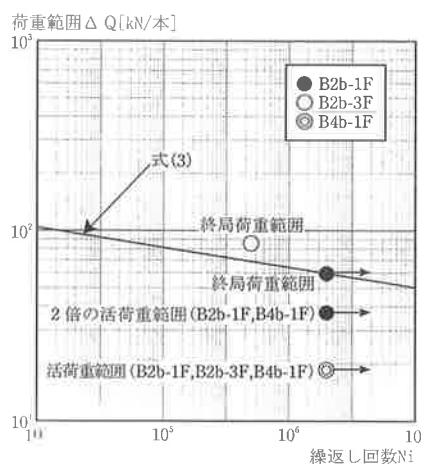


図-13 荷重範囲と繰返し回数との関係

る。この図より、カップラージョイントスタッドの S-N 関係は、式(3)を満足している。

式(3)を用いて活荷重範囲の荷重が繰返し載荷された場合の疲労発生寿命 N_f を算出すると、 $N_f=1.44 \times 10^{11}$ 回となる。したがって、活荷重範囲の荷重の繰返しにおいて、カップラージョイントスタッドは疲労に対して安全であるといえる。

4. 結 論

本研究は、鋼とコンクリートとのずれ止めに着目し、既往の研究、実験方法の調査を行い、それらを踏まえて、日本道路公団 第二東名高速道路中之沢橋で用いられているカップラージョイントスタッドの実験を行った。その結果、下記を明らかにした。

① カップラージョイントスタッドは、通常の

スタッドのせん断耐力と同等の耐力を有する。

② スタッドの押抜き試験は、実橋のスタッドの間隔や、配置（多列）を考慮した試験を行うのがよい。

③ 付着面積が増加するとずれ定数 K の値も増加する傾向にある。

④ 設計活荷重範囲の荷重の繰返しにおいて、カップラージョイントスタッドは疲労に対して安全である。

あとがき

本研究は日本道路公団静岡建設清水工事事務所 第二東名高速道路 中之沢橋（鋼上部工）工事の中のスタッド検討で行った調査研究、実験結果報告書および構造工学論文集²⁰⁾に投稿した内容から一部抜粋した論文である。この実験により、カップラージョイントスタッドの静的せん断耐力および疲労強度を明らかにすることができたと考える。

最後になりましたが、このような実験を行う機会を与えて頂いた日本道路公団静岡建設局構造技術課 寺田典生課長、福永靖雄代理、中村和己技師ならびに日本道路公団静岡建設局清水工事事務所清水中工事区 田中一工事長に感謝の意を表します。本実験を遂行して頂いた社団法人 日本建設機械化協会 建設機械化研究所 研究第二部の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 高田和彦：床版と桁の結合構造の変遷と現状，第 1 回鋼橋床版シンポジウム講演論文集，pp.11-16，1998.11.
- 2) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編 II 鋼橋編，1996.12.
- 3) 平城弘一：頭付きスタッドの静的および疲労強度と設計法に関する研究，博士論文，1990.2.
- 4) (社)土木学会 鋼構造委員会 鋼橋床版の調査研究小委員会：道路橋床版の新技术と性能照査型設計，pp.115-116，2000.10.
- 5) (社)日本道路協会：鋼道路橋の合成桁設計施工指針，1960.1.
- 6) 例えば，保坂鐵矢・光木 香・平城弘一・牛島祥貴・橋 吉宏・渡辺 滉：孔あき鋼板ジ

- ベルのせん断特性に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.46A, pp.1593-1604, 2000.3.
- 7) (社)日本鋼構造協会: 頭付きスタッドの押抜き試験方法(案)とスタッドに関する研究の現状, JSSC テクニカルレポート No.35, 1996.11
- 8) Slutter, R.G. and Fisher, J.W.: Fatigue Strength of Shear Connectors, Highway Research Record, No.147, pp.65-88, 1966.
- 9) 赤尾新助・栗田章光・平城弘一: 頭付きスタッドの押抜き挙動に及ぼすコンクリートの打込み方向の影響, 土木学会論文集, No.380/I-7, pp.311-320, 1987.4.
- 10) CEN: Eurocode 4 Part 2(1997), 1997.12.
- 11) 例えば, 大久保宣人・栗田章光・中島星佳・小松恵一・端本勝介: 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, pp.493-500, 2000.11.
- 12) 平城弘一・武藤和好・松井繁之・石崎 茂: 柔スタッドの配置が及ぼす押抜きせん断挙動への影響, 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集, I-A322, pp.644-645, 1998.10.
- 13) 高海克彦・西 克幸・濱田純男: 軸力を同時に受けるスタッドジベルのせん断耐力, 鋼構造年次論文報告集, 第7巻, pp.233-240, 1999.11.
- 14) 中島典章・小海昌伸・岡村正巳・斉木 功・大江浩一・佐藤 大: 両振り載荷によるスタッドの静的および疲労強度に関する研究, 第4回複合構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, pp.133-138, 1999.11.
- 15) 松井繁之・平城弘一・福本嘸士: 頭付きスタッドの強度評価式の誘導ー静的強度評価式ー, 構造工学論文集, Vol.35A, pp.1221-1232, 1989.3.
- 16) (社)土木学会: 鋼構造物設計指針 PART B 合成構造物編, 1997.9.
- 17) 松井繁之・平城弘一・福本嘸士: 頭付きスタッドの強度評価式の誘導ー疲労強度評価式ー, 構造工学論文集, Vol.35A, pp.1233-1244, 1989.3.
- 18) 日本道路公団: 土木工事共通仕様書, 1999.4.
- 19) 日本道路公団: 構造物施工管理要領, 1999.11.
- 20) 石川敏之・寺田典生・福永靖雄・中村和己・田中 一: カップラージョイントスタッドのせん断耐荷力および疲労強度特性, 構造工学論文集, Vol.47A, pp.1355-1362, 2001.3.