

# (56) スタッドの使用性の限界状態に対する限界値に関する一考察

中島章典<sup>1</sup>・渡邊忠朋<sup>2</sup>・坂口淳一<sup>3</sup>

<sup>1</sup>フェロー会員 株式会社 HRC 研究所 (〒 984-0805 仙台市若林区南材木町 3-301)

Email: akinorin@hrc-ri.co.jp

<sup>2</sup>正会員 北武コンサルタント株式会社 (〒 062-0020 札幌市豊平区月寒中央通 7-4-7)

Email: chuho@hokubu-c.co.jp

<sup>3</sup>正会員 株式会社 HRC 研究所 (〒 062-0020 札幌市豊平区月寒中央通 7-4-7)

Email: j-sakaguchi@hrc-ri.co.jp

複合構造物の合成部材やその接合部は使用時において一体性を確保している必要があるため、一般にずれ止めが配置されている。複合構造標準示方書では、使用時にこのずれ止めに顕著な残留変位が生じないことを照査するものとしており、その照査のための限界値として、残留変位に対応する除荷前のずれ変位あるいはせん断力を規定している。しかし、スタッドおよびコンクリートが任意の材料特性を持つ場合、同示方書で規定するスタッドのせん断力-ずれ変位関係式上で、せん断力の限界値のときに必ずしもずれ変位の限界値とはならないようである。

そこで本検討では、種々のスタッド諸元およびコンクリート圧縮強度を持つ場合について、複合構造標準示方書で規定されるせん断力-ずれ変位関係式上におけるせん断力およびずれ変位の限界値を具体的に確認した。

**Key Words :** *steel-concrete hybrid structure, stud shear connector, serviceability limit state, critical value*

## 1. はじめに

複合構造物の合成部材やその接合部は使用時において一体性を確保している必要があり、一般にはその一体性を確保するためにずれ止めが配置されている。そして、その合成部材や接合部の使用時の挙動は弾性範囲に留まることが要求される。したがって、ずれ止めの挙動も使用時には弾性範囲に留まる必要があり、その際ずれ止めには、除荷時の残留変位はほとんど生じないことが要求される。複合構造標準示方書<sup>1)</sup>においても、ずれ止めが配置された複合構造物の使用時において、ずれ止めに顕著な残留変位が生じないことを照査するものとしている。

ところで、島・渡部<sup>2)</sup>は、頭付きスタッド(以下、スタッドと呼ぶ。)の押抜き試験で得た詳細なデータに基づいて、ある大きさのずれ変位から除荷したときの残留ずれ変位とその除荷前のずれ変位の関係を整理した。そして、この関係において残留ずれ変位がある値から急激に大きくなることを示した。この研究結果を参考にして、複合構造標準示方書 2009 年版<sup>3)</sup>の制定においては、合成桁の場合のような一般的な状態で用いら

れるスタッドの残留変位つまり残留ずれ変位の目安として、約 0.1mm という値を示している。

また同示方書では、同じく島・渡部<sup>2)</sup>の研究を参考にして、スタッドについても数値解析などに適用できるせん断力-ずれ変位関係式を規定している。そして、この残留ずれ変位 0.1mm に対して、せん断力-ずれ変位関係式上で除荷が生じる前のずれ変位としては 0.4mm を、除荷前のせん断力としてはせん断耐力の 1/2 を限界値の目安として示している。しかし、スタッドおよびコンクリートが任意の材料特性を有する場合、同示方書で規定しているスタッドのせん断力-ずれ変位関係式上のせん断力がせん断耐力の 1/2 となるときのずれ変位は必ずしも 0.4mm とはならない場合もあるようである。せん断力の限界値とずれ変位の限界値が一致しない場合、設計的にはどちらか厳しいほうの限界値を採用すればよいと考えられるが、スタッドの使用性の限界状態を規定する限界値として、どちらの限界値を基準とするべきか判断に迷うこともあると考えられる。

そこで本検討では、種々のスタッドの諸元およびコンクリートの圧縮強度を持つ場合について、複合構造標準示方書で規定されるせん断力-ずれ変位関係式上

におけるずれ変位 0.4mm 時のせん断力あるいはせん断力がせん断耐力の 1/2 になるときのずれ変位を確認した。また、不完全合成桁の数値解析手法に同示方書で規定されるせん断力-ずれ変位関係式を組み込み、実際の単純合成桁を対象として、合成後死荷重および活荷重の設計荷重下でのスタッドの使用性に関わるせん断力応答を確認した。

## 2. スタッドのせん断力-ずれ変位関係およびせん断耐力

複合構造標準示方書で規定しているスタッドのせん断力-ずれ変位関係式を以下に示す。

$$V_{ss} = V_{ssud}(1 - e^{\alpha\delta_{ss}/d_{ss}})^{\beta} \quad (1)$$

ここに、 $V_{ss}$ :スタッドのせん断力 (N),  $V_{ssud}$ :スタッドの設計せん断耐力 (N),  $\delta_{ss}$ :ずれ変位 (mm),  $d_{ss}$ :スタッドの軸径 (mm),  $\alpha, \beta$ :係数である。なお、式中の設計せん断耐力  $V_{ssud}$  は以下の式 (2), (3) のうちの小さいほうによって与えられる。

$$V_{ssud} = (31A_{ss}\sqrt{(h_{ss}/d_{ss})f'_{cd}} + 10000)/\gamma_b \quad (2)$$

$$V_{ssud} = A_{ss}f_{ssud}/\gamma_b \quad (3)$$

ここに、 $V_{ssud}$ :スタッドの設計せん断耐力 (N),  $A_{ss}$ :スタッドの断面積 ( $\text{mm}^2$ ),  $d_{ss}$ :スタッドの軸径 (mm),  $h_{ss}$ :スタッドの高さ (mm),  $f_{ssud}$ :スタッドの設計引張強度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ),  $f'_{cd}$ :コンクリートの設計圧縮強度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ),  $\gamma_b$ :部材係数である。

このせん断耐力式に基づいて、スタッドの軸径を 19, 22, 25mm, スタッドの高さを 100, 150, 200mm, スタッドの引張強度を 400, 450, 500, 550, 600 $\text{N}/\text{mm}^2$  とし、また、コンクリートの圧縮強度を 20~50 $\text{N}/\text{mm}^2$  と変えた場合のせん断耐力とコンクリートの圧縮強度などとの関係を図-1 に示す。ただし、これらの諸元では、複合構造標準示方書で規定されるせん断力-ずれ変位関係式およびせん断耐力式の適用範囲を一部超えていることを断っておく。

図-1(a), 図-1(b), 図-1(c) がそれぞれスタッドの軸径 19, 22, 25mm の場合に対応している。縦軸がせん断耐力, 横軸がコンクリートの圧縮強度である。式 (2) で求まるせん断耐力を青線で、式 (3) で求まるせん断耐力を赤線で示している。スタッドの軸径を一定とした場合、式 (2) で求まるせん断耐力はスタッドの高さとともに増加するので、スタッドの高さ 100, 150, 200mm に対して、青実線, 青点線, 青破線という 3 本の線で表している。そして、コンクリートの圧縮強度が増加するとともにせん断耐力も増加するので、青線は右側に行くほど値が大きくなっている。一方、式 (3) で求ま

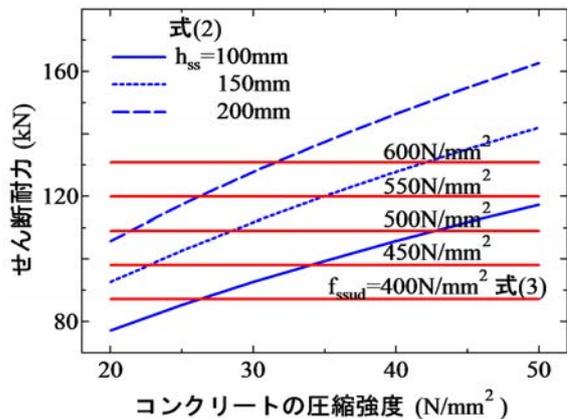


図-1(a) スタッド軸径 19mm

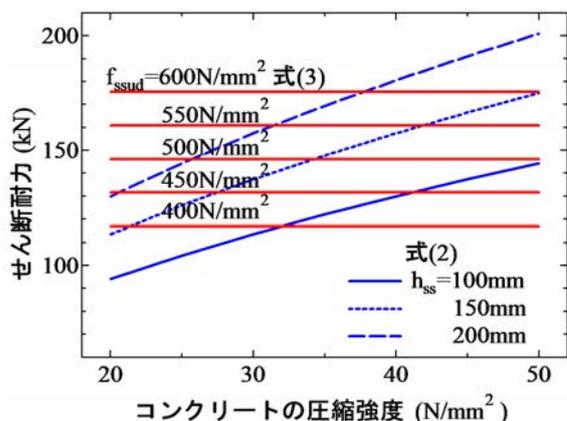


図-1(b) スタッド軸径 22mm

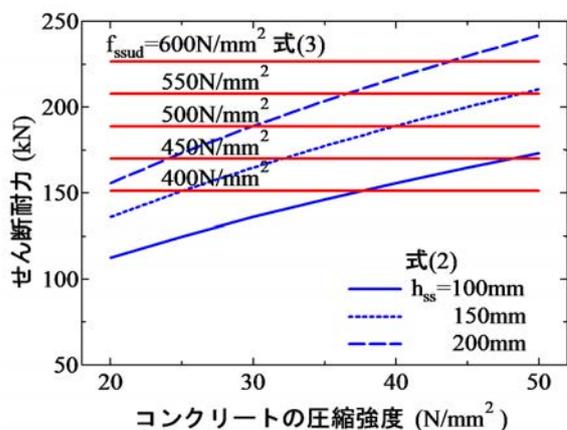


図-1(c) スタッド軸径 25mm

図-1 種々の諸元を有するスタッドのせん断耐力

るせん断耐力はスタッドの引張強度に比例して増加し、コンクリートの圧縮強度およびスタッドの高さには依存しない。したがって、スタッドの軸径が一定の場合、式 (3) で求まるせん断耐力はスタッドの引張強度ごとに 5 本の水平な赤線で表される。ここで、スタッドの諸元に応じて、青線と赤線のうちの下に位置するほうがせん断耐力となる。

例えば、スタッドの軸径 22mm, 全高 150mm, 引張

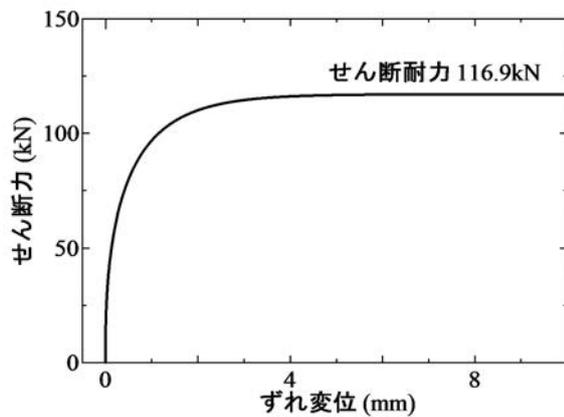


図-2(a) ずれ変位 10mm までの関係

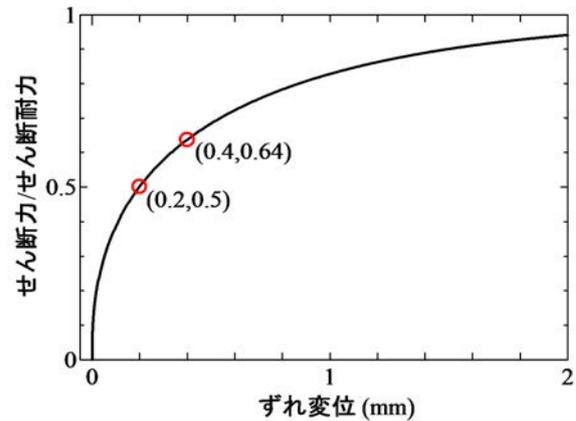


図-2(b) ずれ変位 2mm までの初期拡大図

図-2 スタッドのせん断力-ずれ変位関係の例

強度  $500\text{N/mm}^2$  の場合、式 (2) で決まるせん断耐力は図-1(b) 中の青点線となる。コンクリートの圧縮強度がおよそ  $35\text{N/mm}^2$  以下では、青点線がスタッドの引張強度  $500\text{N/mm}^2$  に対する赤線よりも下に位置するので、せん断耐力は式 (2) で決まり、コンクリートの圧縮強度がおよそ  $35\text{N/mm}^2$  以上では逆にスタッドの引張強度  $500\text{N/mm}^2$  に対する赤線のほうが下になるので、この範囲のせん断耐力は式 (3) で決まることになる。

ところで一例として、スタッドの軸径 22mm、全高 150mm、引張強度  $400\text{N/mm}^2$ 、コンクリートの圧縮強度  $50\text{N/mm}^2$  とした場合の複合構造標準示方書に規定されるせん断力-ずれ変位関係を 図-2(a) に示す。この場合のせん断耐力は式 (3) のスタッドの引張強度で決まり、116.9kN となる。またこの関係において、ずれ変位 2mm までの拡大図を図-2(b) に示す。この図では縦軸をせん断耐力で除して示している。そして、図中にせん断力がせん断耐力の 1/2 になる点、およびずれ変位が 0.4mm となる点を赤丸で示している。赤丸の点の座標値で示すように、せん断力がせん断耐力の 1/2 となるときのずれ変位は 0.2mm であり、ずれ変位が 0.4mm のときのせん断力はせん断耐力の 0.64 となっており、せん断力がせん断耐力の 1/2 になるときと、ずれ変位が 0.4mm になるときは一致していない。これらの値は用いたスタッドの諸元などによって変化する。

### 3. せん断力-ずれ変位関係式のずれ変位 0.4mm 時のせん断力とせん断耐力の 1/2 時のずれ変位の関係

スタッドの諸元、コンクリートの圧縮強度などを種々変えた場合において、複合構造標準示方書に規定されるせん断力-ずれ変位関係式上において、ずれ変位 0.4mm 時のせん断力とせん断耐力の 1/2 時のずれ変位の関係を確認した。

#### (1) せん断耐力の 1/2 時のずれ変位

図-3 には、せん断力-ずれ変位関係式において、せん断力がせん断耐力の 1/2 に達したときのずれ変位とコンクリートの圧縮強度の関係を示している。縦軸はせん断力がせん断耐力の 1/2 に達したときのずれ変位を、横軸はコンクリートの圧縮強度である。図-3(a)～図-3(i) では、スタッドの軸径を 19, 22, 25mm、スタッドの高さを 100, 150, 200mm とし、スタッド軸部の引張強度を 400, 450, 500, 550, 600 $\text{N/mm}^2$  と変えている。これらの図から、コンクリートの圧縮強度が大きくなるほど、せん断力がせん断耐力の 1/2 に達するときのずれ変位は小さくなり、コンクリートの圧縮強度が  $30\text{N/mm}^2$  以上では、だいたいそのずれ変位は使用性の限界値と考えられる 0.4mm よりも小さくなっている。これに対して、コンクリートの圧縮強度が  $30\text{N/mm}^2$  以下では、せん断力がせん断耐力の 1/2 に達するときのずれ変位は大きくなり 0.4mm よりも大きいところもあり、特に、スタッドの引張強度が低いほどそのずれ変位は大きくなる傾向がある。さらに、スタッド軸径が大きくなり、スタッド全高が低いほど、スタッド軸部の引張強度がこのずれ変位に及ぼす影響は顕著に見られる。

#### (2) ずれ変位 0.4mm 時のせん断力

一方、図-4 には、せん断力-ずれ変位関係式において、ずれ変位が使用性の限界値 0.4mm に達したときのせん断力とコンクリートの圧縮強度の関係を示している。横軸はコンクリートの圧縮強度を、縦軸はずれ変位が 0.4mm に達したときのせん断力をせん断耐力で除して示している。ここでも、図-4(a)～図-4(i) では、スタッド軸径を 19, 22, 25mm、スタッドの高さを 100, 150, 200mm、スタッド軸部の引張強度を 400, 450, 500, 550, 600 $\text{N/mm}^2$  と変えている。これらの図から、スタッド軸径や全高に依らず、ずれ変位が 0.4mm に達するときのせん断力は、コンクリートの圧縮強度が高くなるほど大きくなるのがわかる。これに対し

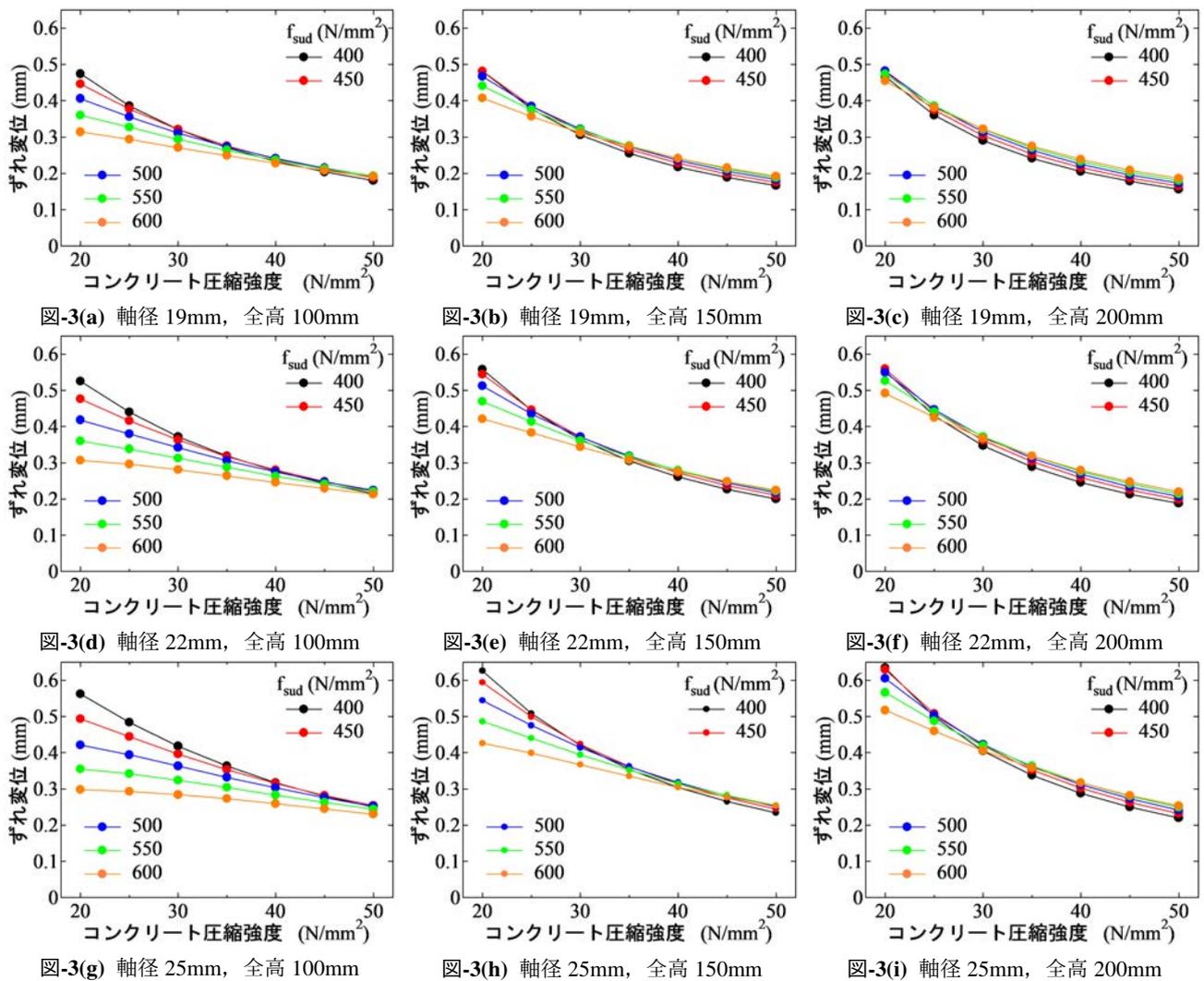


図-3 セン断力がせん断耐力の1/2に達したときのずれ変位とコンクリートの圧縮強度の関係

て、スタッド軸径が大きくなるほど、コンクリートの圧縮強度が25N/mm<sup>2</sup>程度以下で、スタッドの引張強度が500N/mm<sup>2</sup>以下の一部の範囲では、ずれ変位が0.4mmに達するときのせん断力はせん断耐力の1/2よりも小さい。しかし、その他の範囲では、コンクリートの圧縮強度の増加とともにずれ変位が0.4mmに達するときのせん断力はせん断耐力の1/2よりも大きい。

**(3) ずれ変位 0.4mm 時のせん断力とせん断耐力の1/2 時のずれ変位の関係のまとめ**

以上のことから、コンクリートの圧縮強度が30N/mm<sup>2</sup>程度以下のとき、複合構造標準示方書に規定されるスタッドのせん断力-ずれ変位関係式において、せん断力がせん断耐力の1/2に達するときのずれ変位は0.4mmよりも大きい場合がある。一方、コンクリートの圧縮強度がだいたい30N/mm<sup>2</sup>以上のときには、せん断力-ずれ変位関係式において、ずれ変位が0.4mmに達するときのせん断力はせん断耐力の1/2よりも大きくなる場合があることがわかる。したがっ

て、スタッドの使用性の限界値としてずれ変位0.4mmあるいはせん断力がせん断耐力の1/2のいずれを用いるのが適切であるか明確にしておくことが必要であると思われる。

**4. 合成桁モデルの使用性の限界状態におけるスタッドのせん断力応答値の確認**

**(1) 解析モデル**

実際的な桁諸元を有する単純合成桁の1本の主桁と対応する鉄筋コンクリート床版（以下、RC床版と呼ぶ。）部分を対象として、これにずれ止めとしてスタッドを配置した場合について、合成後死荷重および活荷重載荷時のスタッドのせん断力応答を、不完全合成桁の挙動を確認するに際して有効である剛体ばねモデルを用いた弾塑性解析により確認する。

解析対象モデルを図-5に示す。スパンは30m、鋼桁の桁高は1750mm、RC床版幅は2250mm、床版厚は

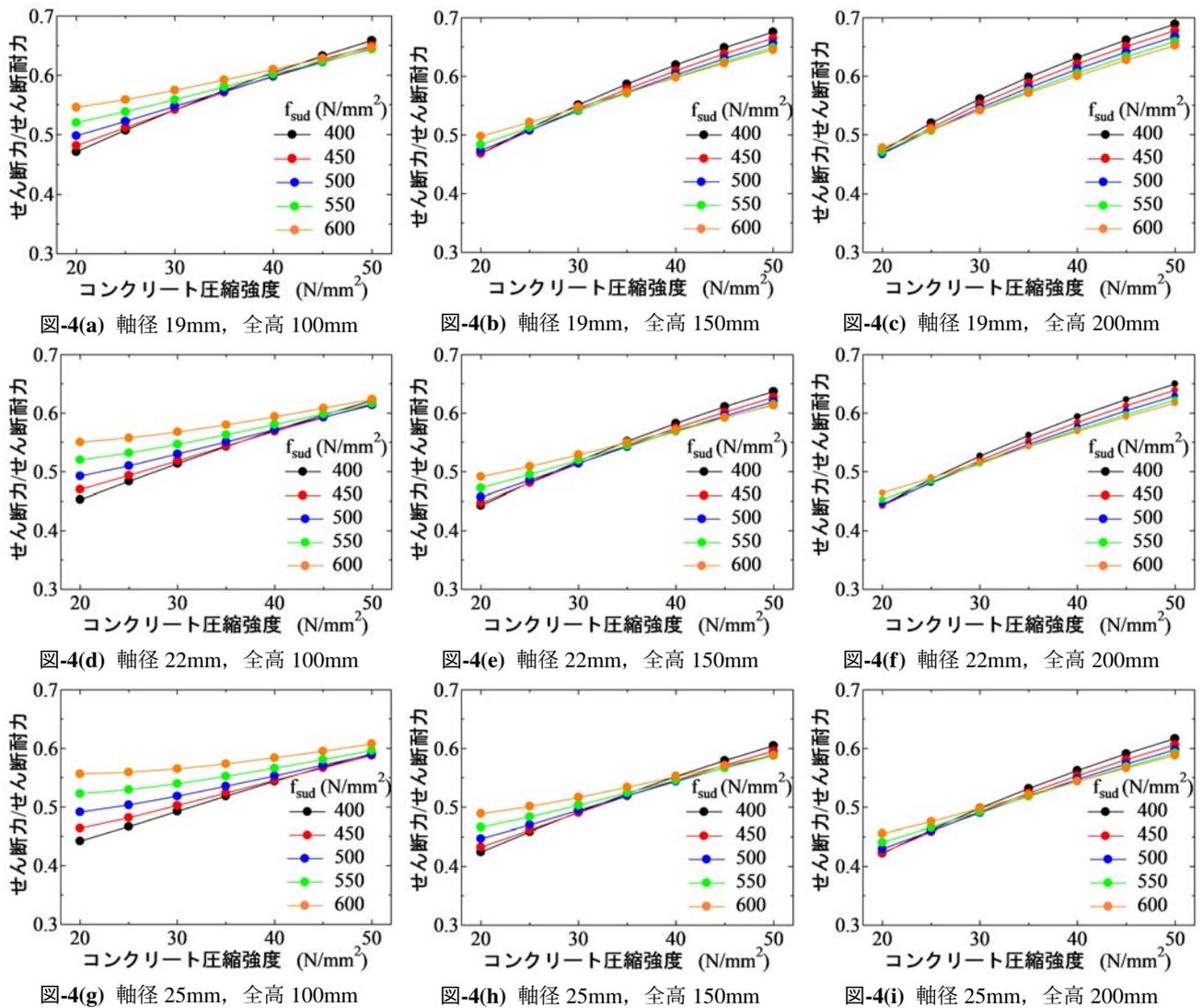


図-4 ずれ変位 0.4mm 時のせん断力とコンクリートの圧縮強度の関係

210mm とし、主桁は変断面構成となっている。また、合成後死荷重の大きさは 16kN/m とし、活荷重としては B 活荷重を作用させた。解析に際して、鋼桁には合成前死荷重による応力も考慮しているが、この応力は設計荷重時までのスタッドのせん断力応答にはあまり影響しないので、詳細な説明は文献<sup>4)</sup>に譲り、ここでは省略する。なお、実際には合成桁であるので、スタッドは十分に配置されており、合成後死荷重および活荷重の荷重によってスタッドの使用性が問題となるような大きさの水平せん断力は生じない。そこで、実橋よりもスタッドの配置数を大幅に減らして検討する。

剛体ばねモデル解析において、RC 床版および鋼桁の橋軸方向の要素分割数は 60 とし、1 つの剛体長さは 500mm としている。したがって、スタッドは 500mm 間隔で等間隔配置することになる。複合構造標準示方書に規定されるせん断力ずれ変位関係式を数値解析に導入する場合には、スタッドの配置箇所配置本数分のせん断耐力を与えればよい。ここでは、軸径 22mm、

全高 150mm、引張強度 400N/mm<sup>2</sup> のスタッドを各箇所 に 2 本程度配置する場合を検討する。ただし、合成後死荷重および活荷重の荷重によって桁端付近の最も大きいせん断力を伝達するスタッドのせん断力がせん断耐力の 1/2 になる、あるいは、すれ変位が 0.4mm となるようなスタッドの配置とするために、スタッドのせん断耐力を実際のスタッド 1 本のせん断耐力に対して小数点以下を含む数値を乗じて細かく増減させた。つまり、500mm 間隔のスタッドの配置本数が 2 本ではなく、1.95 本や 2.12 本などとなるような場合を検討した。

## (2) スタッドのせん断力分布

一例として、コンクリートの圧縮強度を 30N/mm<sup>2</sup> とし、使用性の限界状態としてせん断力がせん断耐力の 1/2 となる場合を想定して、合成後死荷重および活荷重を荷重した場合のスタッドの橋軸方向せん断力分布を図-6 に示す。縦軸がスタッド配置箇所 1 箇所当りのせん断力、横軸は橋軸方向位置である。合成後死荷重

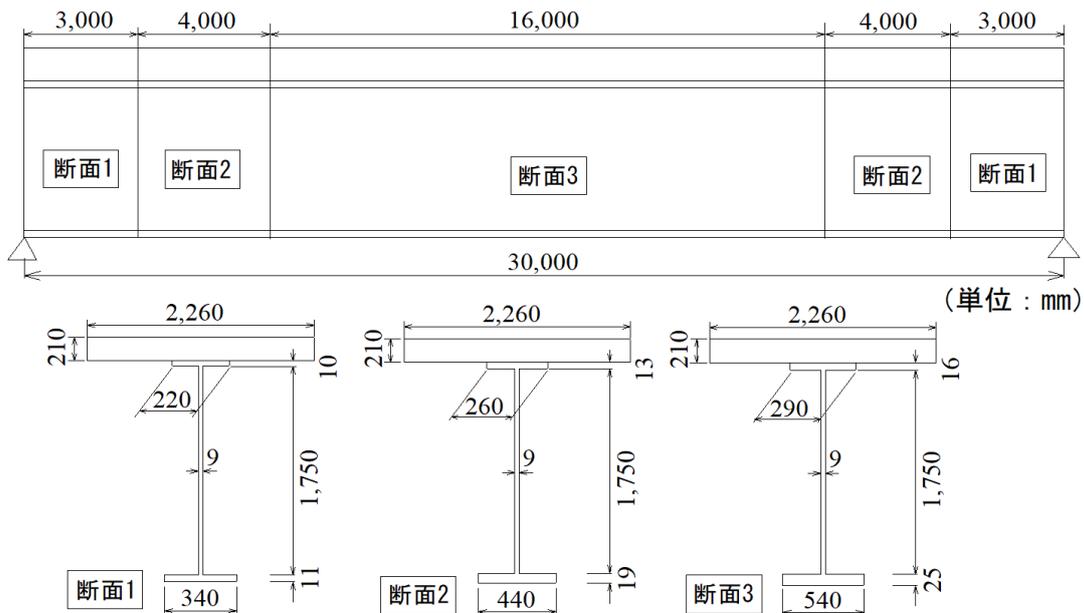


図-5 単純合成桁の解析モデル

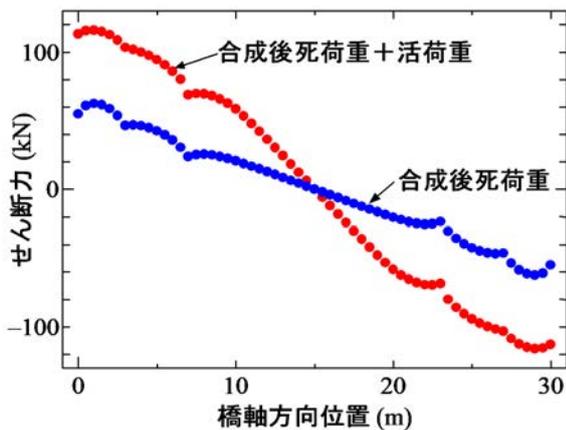


図-6 スタッドの橋軸方向せん断力分布

および活荷重載荷時に最大せん断力が生じる位置のスタッドのせん断力がせん断耐力の1/2となるように、1箇所当たりのスタッドの配置本数は1.98本としている。合成後死荷重載荷後のせん断力分布を青マークで、合成後死荷重に加えて活荷重を載荷した後のせん断力分布を赤マークで示している。活荷重載荷後の設計荷重時の最大せん断力は、桁端付近においてスタッド約2本分で115.9kNとなっており、ほぼせん断耐力(2×115.7kN)の1/2になっている。また、合成後死荷重載荷後の最大せん断力は1箇所当たり約62.4kNとなっている。したがって、活荷重の載荷による同位置のスタッドのせん断力増分は115.9-62.4=53.5kNとなる。

スタッドの軸径22mm、全高150mm、引張強度400N/mm<sup>2</sup>の諸元を用い、コンクリートの圧縮強度を20N/mm<sup>2</sup>とした場合には、せん断耐力はコンクリートの圧縮強度で決まり113.5kNとなる。一方、コンクリートの圧縮強度を30、50N/mm<sup>2</sup>とした場合には、せん断

耐力はスタッドの引張強度で決まり116.9kNとなる。また図-3(e)より、せん断力-ずれ変位関係式においてせん断力がせん断耐力の1/2になるときのずれ変位を確認すると、コンクリートの圧縮強度が20N/mm<sup>2</sup>ではずれ変位は0.4mmよりも大きくなり、30N/mm<sup>2</sup>ではずれ変位はだいたい0.4mmとなり、50N/mm<sup>2</sup>ではずれ変位は0.4mmよりも小さくなる。

### (3) 設計荷重によるスタッドのせん断力応答のまとめ

そこで、このような3ケースについて、合成後死荷重載荷後のスタッドのせん断力応答および合成後死荷重に加えて、活荷重載荷後のスタッドのせん断力応答を確認した。その結果を表-1にまとめている。コンクリートの圧縮強度を20N/mm<sup>2</sup>とした場合には、1箇所当たりのスタッドの配置本数を1.94本とした場合に、桁端付近で最も大きい位置のせん断力がせん断耐力の1/2となり、ずれ変位は約0.56mmとなった。これに対して、1箇所当たりのスタッドの配置本数を1.99本とした場合に、桁端付近で最も大きい位置のスタッドのずれ変位が0.4mmとなり、せん断力はせん断耐力の0.44となった。同様に、コンクリートの圧縮強度を30N/mm<sup>2</sup>とした場合には、1箇所当たりのスタッドの配置本数を1.98本とした場合に、桁端付近で最も大きい位置のせん断力がせん断耐力の1/2で、ずれ変位は約0.36mmとなり、1箇所当たりのスタッドの配置本数を1.97本とした場合に、桁端付近で最も大きい位置のスタッドのずれ変位が0.4mmとなり、せん断力はせん断耐力の0.52となった。さらに、コンクリートの圧縮強度を50N/mm<sup>2</sup>とした場合には、1箇所当たりのスタッドの配置本数を2.17本とした場合に、桁端付近で最も大きい位置のせん断力がせん断耐力の1/2となり、ずれ変位は約0.2mm

表-1 使用性の限界状態におけるスタッドのせん断力応答

使用性の限界状態	コンクリートの圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	スタッドの配置本数 (本)	せん断耐力に対する設計荷重時のせん断力の比	設計荷重時のずれ変位 (mm)	せん断耐力に対するせん断力増分の比
せん断力	20	1.94	0.50	0.56	0.23
ずれ変位	20	1.99	0.44	0.40	0.20
せん断力	30	1.98	0.50	0.36	0.23
ずれ変位	30	1.97	0.52	0.40	0.24
せん断力	50	2.17	0.50	0.20	0.25
ずれ変位	50	1.99	0.64	0.40	0.29

となり、1箇所当たりのスタッドの配置本数を1.99本とした場合に、桁端付近で最も大きい位置のスタッドのずれ変位が0.4mmとなり、せん断力はせん断耐力の0.64となった。以上の合成桁解析モデルの数値解析の結果は、もちろん図-3および図-4の結果と対応する。

#### (4) 活荷重によるスタッドのせん断力増分

上述の数値解析で求められた、それぞれのスタッドのせん断力応答において、合成後死荷重載荷後から、活荷重載荷後までのせん断力増分を確認した。活荷重によるスタッドのせん断力応答はスタッドの疲労強度に関係すると考えられることから、ここでは、活荷重によるスタッドのせん断力増分を確認した。

その結果、コンクリートの圧縮強度が20, 30N/mm<sup>2</sup>では、せん断力の増分はせん断耐力の0.25以下であるのに対して、コンクリートの圧縮強度が50N/mm<sup>2</sup>の場合には、せん断力の増分が0.25以上であり、特にスタッドのずれ変位が0.4mmとなる諸元の場合には、せん断力の増分が0.29と最も大きくなった。このことはスタッドの使用性の限界値としてせん断力がせん断耐力の1/2ではなく、ずれ変位0.4mmを用いた場合には、活荷重の載荷によってスタッドが受けるせん断力が大きくなる可能性があるため、使用性の観点においてもあまり好ましくないと考えられる。したがって、複合構造標準示方書に規定されるせん断力ずれ変位関係式に基づけば、図-3に示すようにスタッドのせん断力がせん断耐力の1/2に達するときのずれ変位が0.4mmよりも小さい範囲にあるスタッドを用いる場合には、使用性の限界値としてずれ変位0.4mmではなく、せん断耐力の1/2となるせん断力の値を用いるほうがもちろん望ましいと考えられる。

## 5. おわりに

複合構造標準示方書では、スタッドの使用性の限界状態に対して、残留変位に対応する除荷前のずれ変位あ

るいはせん断力を限界値の目安として示している。しかし、同示方書で規定しているスタッドのせん断力ずれ変位関係式において、スタッドおよびコンクリートの任意の材料特性を有する場合、せん断力-ずれ変位関係式上のせん断力がせん断耐力の1/2となるときのずれ変位は必ずしも0.4mmとはならない場合もあるようである。

本検討では、一般的な諸元のスタッドおよびコンクリートの圧縮強度を持つ場合について、複合構造標準示方書で規定されるせん断力-ずれ変位関係式を確認し、そのせん断力-ずれ変位関係式上におけるずれ変位0.4mm時のせん断力、あるいは、せん断力がせん断耐力の1/2になるときのずれ変位を調べた。その結果、コンクリートの圧縮強度が30N/mm<sup>2</sup>程度以上の場合、ずれ変位が0.4mmとなるときのせん断力はせん断耐力の1/2よりも大きくなり、逆に、コンクリートの圧縮強度が25N/mm<sup>2</sup>程度以下の範囲では、せん断力がせん断耐力の1/2となるときのずれ変位は0.4mmよりも大きくなる場合があることを確認した。

このような状況が生じるスタッドの諸元を有する単純合成桁を対象として、合成後死荷重および活荷重の設計荷重下でのスタッドのせん断力応答を確認した。その結果、ずれ変位が0.4mm時のせん断力がせん断耐力の1/2よりも大きくなる範囲では、使用性の限界状態として、ずれ変位が0.4mmとなる限界値を用いた場合よりも、活荷重作用下のスタッドのせん断力応答が大きくなることを確認した。

以上のことから、ずれ変位が0.4mm時のせん断力がせん断耐力の1/2よりも大きくなる範囲では、使用性の限界値としてずれ変位0.4mmではなく、せん断耐力の1/2となるせん断力の値を用いるほうが望ましいと考えられる。

## 参考文献

- 1) 土木学会複合構造委員会：複合構造標準示方書（2014年制定）、2015.5.

- 2) 島 弘, 渡部誠二: 頭付きスタッドのせん断力-ずれ関係の定式化, 土木学会論文集A, Vol.64, No.4, pp.935-947, 2008.11.
- 3) 土木学会複合構造委員会: 複合構造標準示方書(2009年制定), 2009.12.
- 4) 中島章典, 尾形圭祐, 菅原健太郎, Nguyen Minh Hai, 藤

倉修一: 死活荷重の載荷履歴を考慮した連続合成桁に関する解析的研究, 構造工学論文集, Vol.66A, pp.813-820, 2020.3.

( Received September 10, 2021)

## A STUDY ON CRITICAL VALUE FOR LIMIT STATE OF SERVICEABILITY OF STUD SHEAR CONNECTOR

Akinori NAKAJIMA, Tadatomo WATANABE, Junichi SAKAGUCHI

In Standard Specifications for Hybrid Structures specified by JSCE, it is required to check at the serviceability condition, that the remarkable residual displacement in shear connectors is not generated. Therefore, in the specification, the corresponding displacement or shear force on the shear force-displacement relation before unloading is specified as the critical value for verification. However, when the headed studs with the arbitrary property of stud and concrete are employed as the shear connectors, the critical value of the shear force does not always agree with the one of the displacement on the shear force-displacement relation specified in the specification.