

高さ調整部の厚さおよび材料が頭付きスタッドの せん断耐力に及ぼす影響に関する実験的研究

大阪支店	土木技術部	田邊睦
大阪支店	土木技術部	山村智
大阪支店	土木技術部	河中涼一
技術本部	技術部	橋野哲郎

概要：本研究では、プレキャスト床版と鋼桁を頭付きスタッドで接合する構造において、高さ調整部の厚さと材料がせん断耐力に与える影響の把握を目的として押し抜き試験を実施した。その結果、高さ調整部の材料が同一の場合、調整部が厚くなるほどスタッド1本あたりのせん断耐力が低下し、最大せん断耐力と降伏せん断耐力を比較すると、最大せん断耐力において影響が顕著であることを確認した。また、高さ調整部の厚さが同一の場合において材料物性の影響として圧縮強度と静弾性係数を比較すると、最大せん断耐力に対しては圧縮強度の影響が大きく、降伏せん断耐力に対しては静弾性係数の影響が大きいことを確認した。

Key Words：プレキャスト床版、高さ調整部、せん断耐力

1. はじめに

老朽化した鋼橋の鉄筋コンクリート床版をプレキャスト（以下、PCa）床版に取り替える工事が高速道路会社などを中心に全国各地で展開されている¹⁾。これらの工事において、PCa床版と鋼桁は、高さ調整のために最小厚さを20mm程度としたモルタル層（以下、高さ調整部）を設けて、頭付きスタッドで接合することが一般的である。しかしながら、工事条件も多様化してきており、複雑な道路線形を有する条件下などにおいては、高さ調整部が厚くなる場合がある。

本研究は、PCa床版と鋼桁を頭付きスタッドで接合する構造において、高さ調整部の厚さおよび材料が、せん断耐力に与える影響を把握することを目的に押し抜き試験を実施したものである。

2. 実験概要

試験体の概要を図-1に、実験要因および材料強度を表-1および表-2に示す。実験は、高さ調整部の厚さおよび材料をパラメータとして、2つのシリーズで実施した。1つは、材料を設計基準強度50N/mm²のモルタルで統一し、厚さを、20mm、100mm、250mmの3パターンとしたシリーズ（以下、シリーズ1）である。もう1つは、高さ調整部の厚さを150mmで統一し、材料を、設計基準強度120N/mm²の繊維補強モルタル、設計基準強度100N/mm²のコンクリート、設計基準強度50N/mm²のコンクリートの3パターンとしたシリーズ（以下、シリーズ2）である。シリーズ2では、圧縮強度をパラメータとするため、実圧縮強度が設計基準強度を



田邊睦



山村智



河中涼一



橋野哲郎

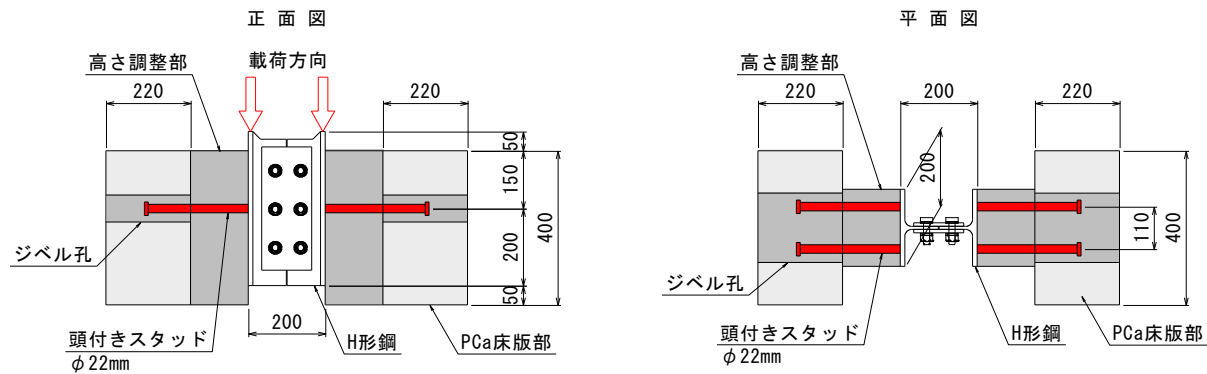


図-1 試験体の概要図

表-1 実験要因および材料強度 (シリーズ 1)

試験体	荷重法	高さ調整部					PCa床版部			頭付きスタッド		
		材料	設計基準強度 (N/mm ²)	厚さ (mm)	実圧縮強度 (N/mm ²)	実静弾性係数 (kN/mm ²)	材料	設計基準強度 (N/mm ²)	厚さ (mm)	軸径 (mm)	高さ (mm)	引張強度 (N/mm ²)
M50-20-1	漸増繰返し	モルタル	50	20	54.7	26.8	コンクリート	50	220	22	140	490
M50-20-2	単調増加											
M50-20-3	単調増加											
M50-100-1	漸増繰返し	モルタル	50	100	60.1	24.8	コンクリート	50	220	22	220	457
M50-100-2	単調増加											
M50-100-3	単調増加											
M50-250-1	漸増繰返し	モルタル	50	250	53.8	27.2	コンクリート	50	220	22	370	444
M50-250-2	単調増加											
M50-250-3	単調増加											

表-2 実験要因および材料強度 (シリーズ 2)

試験体	荷重法	高さ調整部					PCa床版部			頭付きスタッド		
		材料	設計基準強度 (N/mm ²)	厚さ (mm)	実圧縮強度 (N/mm ²)	実静弾性係数 (kN/mm ²)	材料	設計基準強度 (N/mm ²)	厚さ (mm)	軸径 (mm)	高さ (mm)	引張強度 (N/mm ²)
F120-150-1	漸増繰返し	繊維補強 モルタル	120	150	110.8	38.1	コンクリート	50	220	22	270	457
F120-150-2	単調増加											
F120-150-3	単調増加											
C100-150-1	漸増繰返し	コンクリート	100	150	95.5	41.7	コンクリート	50	220	22	270	457
C100-150-2	単調増加											
C100-150-3	単調増加											
C50-150-1	漸増繰返し	コンクリート	50	150	48.9	30.1	コンクリート	50	220	22	270	457
C50-150-2	単調増加											
C50-150-3	単調増加											

超えない材齢で試験を行った。また、静弾性係数の影響にも着目し、モルタルに対して相対的に静弾性係数が大きい材料を実験要因とした。

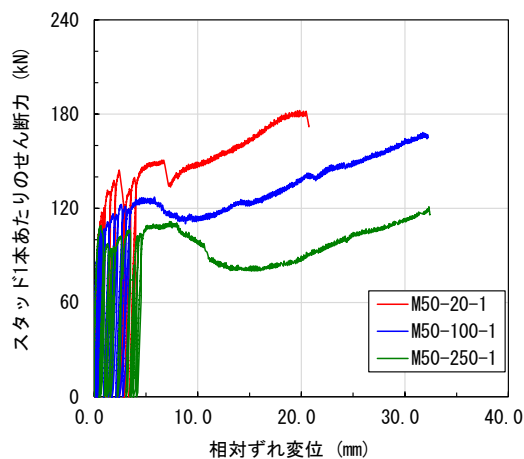
試験体は、頭付きスタッド接合用の箱抜き（以下、ジベル孔）を設けた設計基準強度 50N/mm²、厚さ 220mm の PCa 床版を模擬したコンクリートブロックを、2 本の頭付きスタッドが溶植された鋼桁を模擬したフランジ幅 200mm の H 形鋼上に設置後、コンクリートブロックと H 形鋼間の高さ調整部およびジベル孔内共に所定の材料を充填することによって製作した。なお、本実験ではジベル孔内にも高さ調整部と同じ材料を充填した。頭付きスタッドは全ての試験体において軸径 22mm を使用し、高さ調整部の厚さに応じて埋込長が PCa 床版厚の半分を超える高さとした。

荷重方法は日本鋼構造協会の押し抜き試験方法²⁾に準拠した。試験体は各パターンで3体製作し、1体は漸増繰返し荷重法、他の2体は単調増加荷重法とした。漸増繰返し荷重法については、スタッド位置におけるH形鋼とコンクリートブロックあるいは高さ調整部の相対ずれ変位が1.0mmに達するまでは0.2mmずつ、それ以後4.0mmに達するまでは0.5mmずつ荷重と除荷を繰返し、相対ずれ変位が4.0mm以降、破壊までは単調荷重法とした。

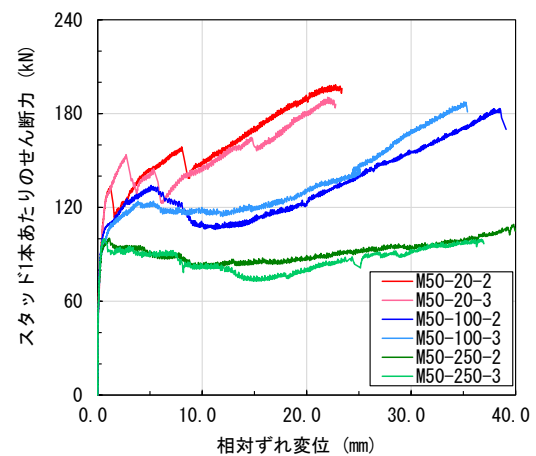
3. 実験結果

3.1 最大せん断耐力

各シリーズのスタッド1本あたりのせん断力と相対ずれ変位の関係を、それぞれ図-2および図-3に示す。ここで、スタッド1本あたりのせん断力とは、荷重荷重をスタッド本数で除した値である。これらの図より、スタッド1本あたりのせん断力は、シリーズ1およびシリーズ2ともに、ほとんどの試験体において、相対ずれ変位が10mmに達する以前に一度ピークを迎えて下降し、10mm以後に再び緩やかに上昇する挙動を示した。なお、一部の試験体では試験終了まで荷重が増加を続けたものの、変位計測ができなくなったために荷重を終了している。荷重試験後の試験体の一例として、M50-100-3の状況を写真-2に示す。荷重試験では、相対ずれ変位が10mmに達する以前に高さ調整部にひび割れが発生し進展した。その後、高さ調整部に発生したひび割れは相対ずれ変位の増加に伴い、最終的に写真-2(a)に示すように破壊に至った。一方で、写真-2(b)に示すように、頭付きスタッドは大きく変形したものの実験終了まで破断しておらず、こうした状況は、高さ調整部の厚さが100mm以上の試験体のほとんどで確認された。このことより、相対ずれ変位が10mmに達する以前に高さ調整部がひび割れ、進展することによって荷重が一度低下するが、その後、高さ調整部が破壊

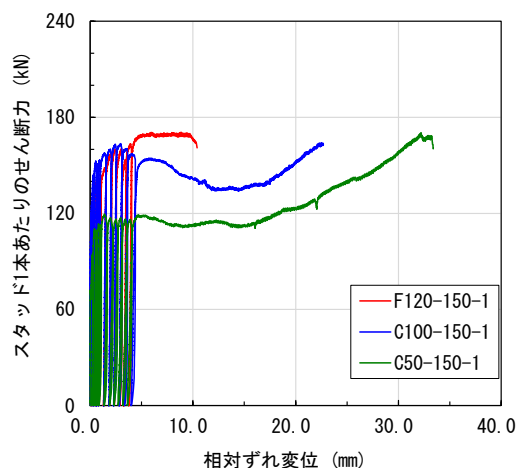


(a) 漸増繰返し荷重法

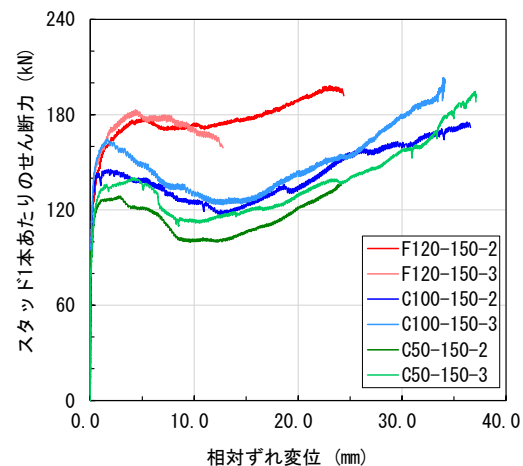


(b) 単調増加荷重法

図-2 スタッド1本あたりのせん断力ー相対ずれ変位関係 (シリーズ1)



(a) 漸増繰返し荷重法



(b) 単調増加荷重法

図-3 スタッド1本あたりのせん断力ー相対ずれ変位関係 (シリーズ2)



(a) 高さ調整部の状況



(b) 頭付きスタッドの状況

写真-2 実験終了後の試験体の状況

した後も、頭部が支点となって定着されたスタッドが破断せずに曲げ抵抗および引張抵抗することで、再び緩やかに荷重が上昇する挙動を示したものと推察される。本研究は、高さ調整部の厚さおよび材料がせん断耐力に与える影響を把握することを目的としているため、最大せん断耐力を、高さ調整部のひび割れが進展して破壊した後の最大値で定義することは適切でないと考え、変位10mm以前の最大値を、スタッド1本あたりの最大せん断耐力として定義した。

3.2 高さ調整部の厚さとせん断耐力の関係

日本鋼構造協会の押し抜き試験方法²⁾では、押し抜き試験から得られたせん断力と相対ずれ変位関係における最大せん断力の1/3荷重点の初期割線剛性を0.2mmオフセットした時との交点を、降伏せん断耐力としている。本研究においても、この方法に基づき、前述のとおり定義した最大せん断耐力を用いて降伏せん断耐力を算出した。

シリーズ1におけるスタッド1本あたりの最大せん断耐力および降伏せん断耐力と高さ調整部厚さの関係を、それぞれ図-4および図-5に示す。なお、図中のプロット上に示す数値は各試験要因3体のせん断耐力の平均値である。これらの図より、スタッド1本あたりのせん断耐力は高さ調整部が厚くなるほど低下し、最大せん断耐力と降伏せん断耐力を比較した場合、最大せん断耐力のほうがその傾向が強く、最大せん断耐力は、厚さ20mmの場合を基本値 S_{20} (kN)と置き、モルタル厚を t (mm)とすると、 $S_{20} - 0.212 \times (t - 20)$ として評価できる。

漸増繰返し载荷を行った試験体について、各载荷ステップのずれ剛性を把握するために、図-6の模式図に示すように、ステップごとのずれ剛性 k_s 、 k_{rs} を算出した。ここで、 k_s は各载荷ステップの初

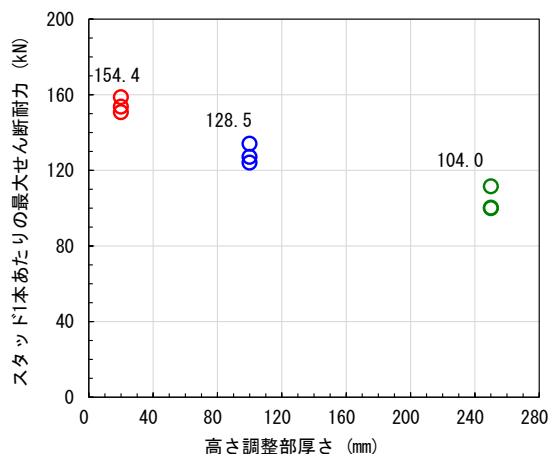


図-4 スタッド1本あたりの最大せん断耐力－高さ調整部厚さ関係

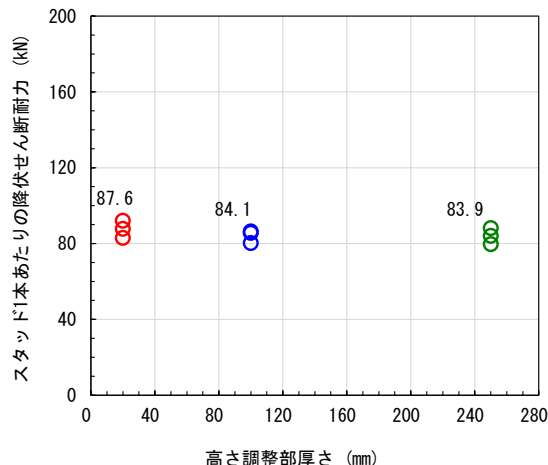


図-5 スタッド1本あたりの降伏せん断耐力－高さ調整部厚さ関係

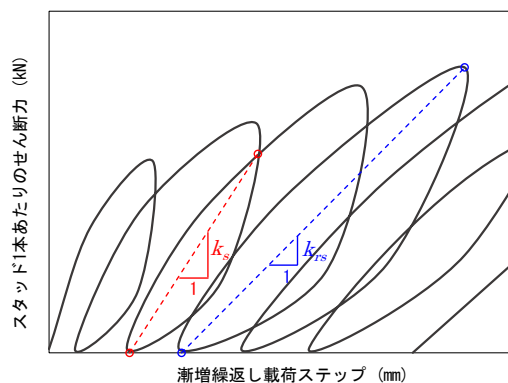
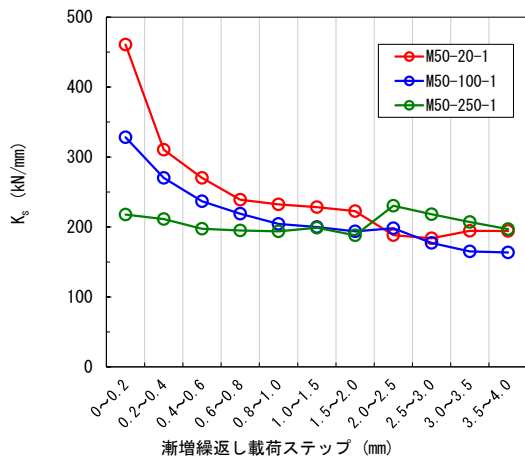
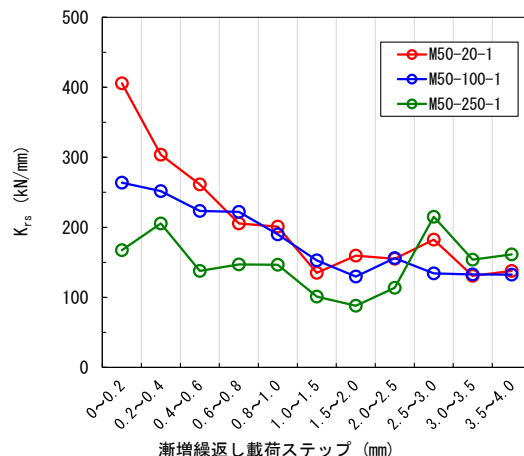


図-6 ずれ剛性算出の模式図

期ずれ剛性であり、相対ずれ変位の増加に伴う試験体の塑性化程度が把握でき、 k_{rs} は各载荷ステップの最大荷重点に対応したずれ剛性であり、繰り返し载荷による相対ずれ変位とせん断力の傾向を把握できるとされている³⁾。シリーズ1における各载荷ステップの k_s および k_{rs} を、それぞれ図-7および図-8に示す。これらの図より、高さ調整部の厚さが大きい試験体ほど各ステップにおける k_s および k_{rs} が小さい傾向にあることがわかる。前述のとおり、頭部が支点となって定着されたスタッドが曲げ変形するが、高さ調整部が厚い試験体の方が、スタッドの支圧によって損傷を生じる面積が大きいためであると考えられる。

図-7 各载荷ステップの K_s (シリーズ1)図-8 各载荷ステップの K_{rs} (シリーズ1)

3.3 高さ調整部の材料とせん断耐力の関係

シリーズ2におけるスタッド一本あたりの最大せん断耐力および降伏せん断耐力と高さ調整部の圧縮強度の関係を、それぞれ図-9および図-10に、スタッド一本あたりの最大せん断耐力および降伏せん断耐力と高さ調整部の静弾性係数の関係を、それぞれ図-11および図-12に示す。また、シリーズ2における各载荷ステップの k_s および k_{rs} を、それぞれ図-13および図-14に示す。

図-9～図-12より、圧縮強度と静弾性係数との相関性を比較した場合、最大せん断耐力は圧縮強度との相関が強く、降伏せん断耐力は静弾性係数との相関が強いことがわかる。また、図-13および図-14より、静弾性係数が最も大きいC100-150-1が各ステップにおける k_s および k_{rs} が大きい傾向にあり、特に相対ずれ変位が1.0mm以前で顕著である。これらのことより、高さ調整部の厚さが同一の場合、ひび割れが生じて塑性化するまでの降伏せん断耐力は静弾性係数の影響が大きく、降伏以降の最大せん断耐力は圧縮強度の影響が大きいことがわかる。ただし、高さ調整部にコンクリートを適用するにあたっては、充填性に対する検討が必要であると思われる。

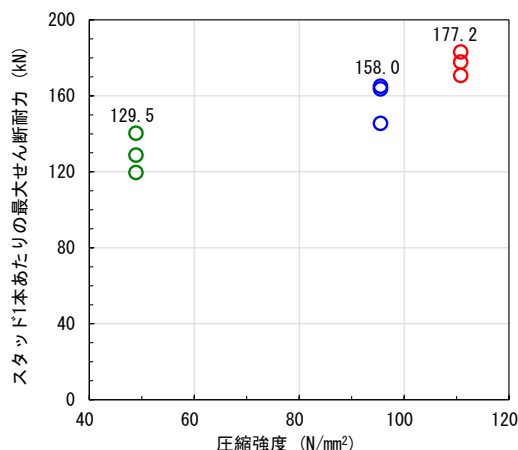


図-9 スタッド1本あたりの最大せん断耐力ー高さ調整部圧縮強度関係

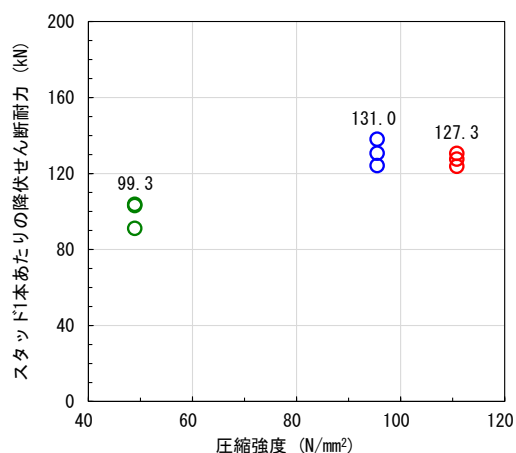


図-10 スタッド1本あたりの降伏せん断耐力ー高さ調整部圧縮強度関係

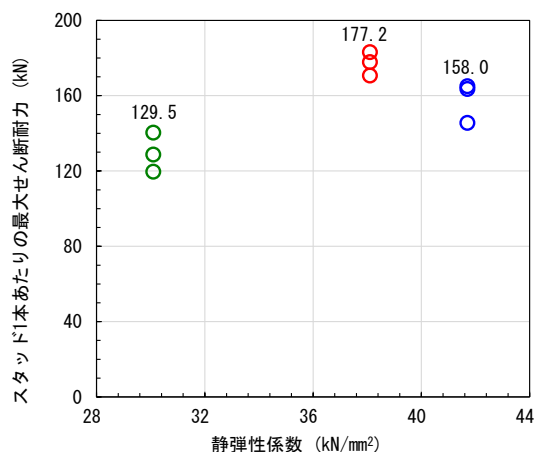


図-11 スタッド1本あたりの最大せん断耐力ー高さ調整部静弾性係数関係

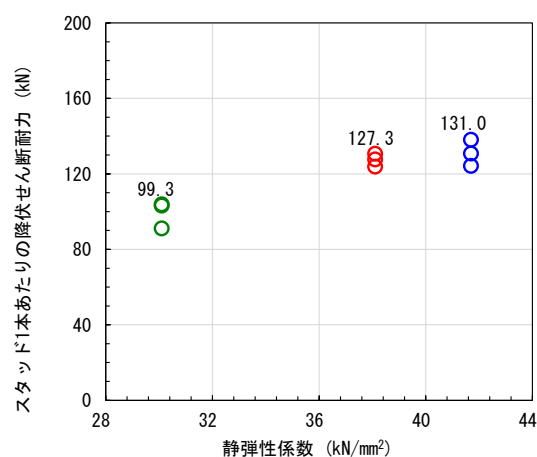


図-12 スタッド1本あたりの降伏せん断耐力ー高さ調整部静弾性係数関係

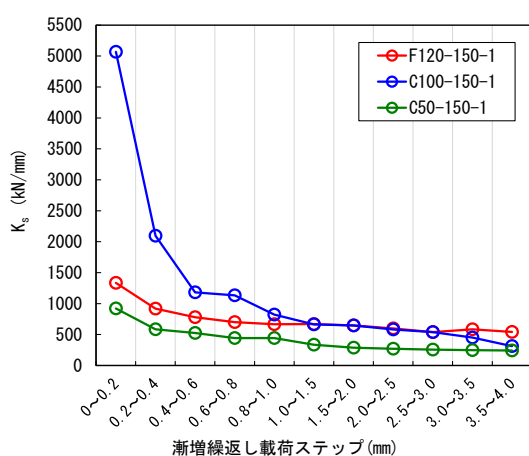


図-13 各载荷ステップの K_s (シリーズ2)

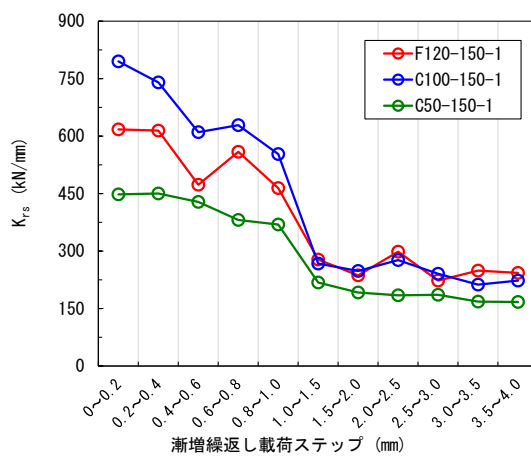


図-14 各载荷ステップの K_{rs} (シリーズ2)

4. まとめ

本研究の範囲内で得られた主な結果をまとめて結論とする。

- (1) 高さ調整部厚さが100mm以上のほとんどの試験体において、スタッド1本あたりのせん断力は、相対ずれ変位が10mmに達する以前に一度ピークを迎え、高さ調整部のひび割れが進展することによって下降する。変位10mm以降、高さ調整部が破壊するが、スタッドが破断せずに荷重抵抗することで、スタッド1本あたりのせん断力は再び緩やかに上昇する。
- (2) せん断耐力は高さ調整部が厚くなるほど低下する。最大せん断耐力と降伏せん断耐力を比較した場合、最大せん断耐力のほうが、その傾向が強いことを確認した。
- (3) 高さ調整部の厚さが同一の場合、圧縮強度と静弾性係数を比較すると、ひび割れが生じて塑性化するまでの降伏せん断耐力に対しては静弾性係数の影響が大きく、降伏以降の最大せん断耐力に対しては圧縮強度の影響が大きいことを確認した。

参考文献

- 1) 緒方辰男, 萩原直樹: NEXCO における大規模更新・修繕, プレストレストコンクリート, Vol.59, No.2, pp.28-33, 2017.3
- 2) 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, 1996.8
- 3) 松本崇志, 浅野文佳, 小林駿祐, 光川直宏, 山口隆司: モルタル薄層を有する頭付きスタッドで結合されたプレキャスト床版の押抜き試験, 構造工学論文集, Vol.66A, pp.914-927, 2020.3