

令和 5 年 6 月 11 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04662

研究課題名(和文) 鋼コンクリート複合構造の収縮・クリープ挙動に適用可能な構成モデルの開発

研究課題名(英文) Development of constitutive model for creep and shrinkage behavior of concrete in steel-concrete hybrid structure

研究代表者

下村 匠 (Shimomura, Takumi)

長岡技術科学大学・工学研究科・教授

研究者番号：40242002

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：コンクリートに埋設された頭付きスタッドで接合された鋼コンクリート複合構造の接合部が持続せん断荷重を受けたときの時間依存性変形と応力伝達特性について実験を行い、以下が明らかになった。スタッドが降伏するせん断力は、静的荷重時よりも低下する。持続荷重によるせん断ずれ変位の経時的増加は、コンクリートのクリープ変形とスタッドの経時的な曲率の増加により生じている。静的耐力の35%以下のレベルでは、持続せん断力とクリープずれ変位が線形関係とみなせる。変動せん断力下のクリープずれ変位は、重ね合わせ則では再現することが出来ない。持続荷重荷重は、除荷後の残留ずれ変位および除荷時のずれ剛性は影響を及ぼす。

研究成果の学術的意義や社会的意義

コンクリートと鋼がスタッドで接合された鋼コンクリート複合構造の力学特性のうち、未解明である時間依存性挙動について、実験的に検討した。応力レベルが低い範囲での持続荷重時の挙動は線形クリープ則に従うことが明らかとなった。このことは、従来の鉄筋コンクリート、プレストレストコンクリートと共通する性質であり、鋼コンクリート複合構造の設計にとって有効な情報となる。

研究成果の概要(英文)：Experiments were carried out on the time-dependent deformation and stress transfer characteristics of joints of steel-concrete composite structures connected by headed studs embedded in concrete under sustained shear loading. The shear force at which the stud yields is lower than that under static shear force. The time-dependent increment in shear displacement due to sustained loading is caused by the creep deformation of the concrete and the time-dependent increase in the curvature of the stud. At levels below 35% of the static yield strength, the creep shear displacement is proportional to sustained shear stress. Creep shear displacement under varying shear force cannot be estimated by the superposition rule. Sustained shear force affects residual shear displacement after unloading and shear stiffness at unloading.

研究分野：コンクリート構造、鋼コンクリート複合構造

キーワード：鋼コンクリート複合構造 頭付きスタッド クリープ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

合成桁に代表される鋼コンクリート複合構造は、種々の複合様式の構造部材や構造形式が開発され、鋼構造、コンクリート構造とともに橋梁などの土木構造物を形作っている。剛性の高い構造の実現、プレキャストによる合理化、複合形態の自由度の高さゆえ革新的な構造物が次々生み出されており、複合構造は土木構造物の可能性を広げている。

複合構造の力学特性は、鋼、コンクリートの単体の材料特性に加え、スタッドなどの両者の接合部の特性に依存する。鋼、コンクリートの単体の性質は、それぞれ、鋼、コンクリート分野ですでに十分な知見が蓄積されている。一方、鋼とコンクリートの接合部の特性については、複合構造の発展とともに研究が行われ、短時間の応答、終局時の挙動については、所要の性能を有した構造物を実現するに足る知見が得られている。

一方、コンクリートの収縮が生じた場合、持続荷重を受けた場合については、構造物の終局挙動に直接影響しないためか、研究事例が少ない。一般には、鋼とコンクリートの一体化を仮定し、コンクリート単体の収縮、クリープ特性を用いて構造応答が算定されるが、求めた変形と応力は実構造物の実測結果と乖離する場合があることが指摘されている。このことは、このような計算仮定が現実を表していないことを意味している。収縮や持続荷重が作用した場合に接合部において生じている可能性があるスタッド近傍のコンクリートの微細ひび割れなどの現象を明らかにし、それに即した力学モデルを用いて構造応答を予測する必要があることを示唆している。

2. 研究の目的

以下を目的とする。

(1) 鋼コンクリート複合構造において、コンクリートの収縮および持続荷重が作用した際に鋼とコンクリートの接合部で生じる、局所的変形、ずれ、コンクリートの微細ひび割れなどの微視的破壊現象を解明すること。

(2) これに基づき、コンクリートの収縮および持続荷重作用下における鋼コンクリート複合構造の時間依存性変形と応力の予測に適用可能な接合部の構成モデルを開発すること。

3. 研究の方法

図-1 に示す試験体を 5 体作製し、載荷試験を行った。スタッドは材質 SS400、軸径 19mm、高さ 100mm のものを、H 形鋼は材質 SS400、寸法 200×200×8×12mm のものを用いた。スタッドは両フランジに 1 本 1 段配置とした。試験体の作製は H 形鋼をウェブで 2 分割し、コンクリートをスタッド上方から打設し、脱型後に添接板を用いて高力ボルトにより摩擦接合した。試験体はすべて打設から 7 日後に脱型し、防水気密テープを用いて速やかに封緘処理を施した。これは今回の実験ではコンクリートの乾燥収縮の影響を排除するためである。なお、圧縮強度試験や圧縮クリープ試験に用いた試験体も非乾燥状態とした。

載荷試験状況を写真-1 に示す。試験体の H 形鋼とコンクリートブロックの接する部分の付着をグリースとテフロンシートを用いて除去し、付着による試験への影響を排除した。また、コンクリートで H 形鋼フランジをコの字状に囲い、H 形鋼移動方向へのガイドを設けることで回転を抑制した。載荷荷重は油圧ジャッキを用いて手動油圧ポンプにより制御し、持続載荷中は 3～10 時間の間隔で荷重を調整し続けた。試験体はコンクリートブロック接地位置にセメントペーストを敷き固定した。試験体 No.1 は静的載荷試験を行い、それ以外の試験体は持続載荷試験を行った。

全ての試験体で載荷荷重、ずれ変位、H 形鋼フランジのひずみを、試験体 No.1、No.2 ではスタッドのひずみを計測した。ずれ変位はスタッドが配置されている水平断面位置における、H 形鋼フランジ背面とコンクリートブロック側面中央との相対的なずれ変位を高感度変位計を用いて測定した。また、H 形鋼フランジとコンクリートブロック上部との相対ずれ変位をクリップ変位計を用いて測定した。

図-2 に各試験体の載荷パターンを示す。

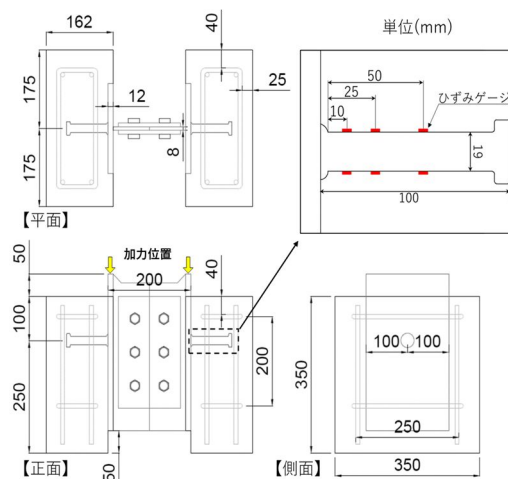


図-1 試験体

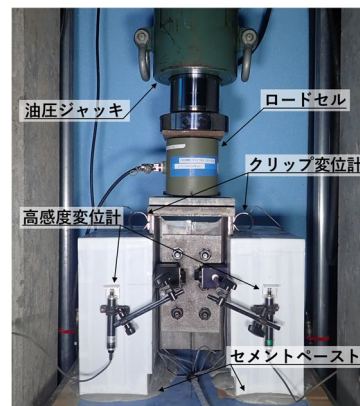


写真-1 載荷試験状況

4. 研究成果

(1) 実験結果

図-3 にすべての試験体のせん断力 - ずれ変位関係を示す。No.1, No.2 は後節で確認した, スタッド降伏時のせん断力を図示した。せん断力は載荷荷重をスタッド本数で除したスタッド1本に対する値, ずれ変位は各測点で計測した値を平均したものである。なお, 試験体左右で計測した, ずれ変位の差は設計せん断耐力比40%の時では最大0.054mmであった。

持続載荷時には, ずれ変位の経時的な増加がみられ, 荷重レベルが大きいかほどずれ変位の経時増加量が大きいことがわかる。

最終破壊形態はすべての試験体でスタッドの破断であった。

(2) 持続載荷による時間依存性ずれ変位の検討

時間依存性ずれ変形とせん断応力の関係

持続載荷による経時変化挙動について検討を行うため, 経時変化成分すなわち持続載荷期間中のずれ変位の経時的増加量(以下「クリープずれ変位」と称す)を次式により抽出した。

$$\delta_c(t) = \delta(t) - \delta(t_i)$$

ここに, $\delta_c(t)$: 時刻 t におけるクリープずれ変位(mm), $\delta(t)$: 時刻 t におけるずれ変位(mm), $\delta(t_i)$: 時刻 t_i におけるずれ変位(mm), t : 持続載荷開始からの任意の時刻, t_i : 持続載荷開始時刻である。

クリープずれ変位と持続載荷期間の関係を図-4 に示す。クリープずれ変位は持続載荷開始直後に大きく増加し, 時間経過とともに収束傾向にある。また, 持続せん断力が大きい程クリープずれ変位も大きく, 特にスタッドが降伏すると著しく大きくなる。また, いずれの試験体も時間に対する変化傾向は概ね同様である。

クリープずれ変位はせん断力にどのように依存するのか検討を行うため, 持続載荷履歴のない No.2-20%, No.3-50%, No.4-35%, No.5-15%のクリープずれ変位を対象に, クリープずれ変位 $\delta_c(t)$ を持続せん断力 $\tau(t_i)$ で除した値である, 単位せん断力あたりのクリープずれ変位 ($\delta_c/\tau(t)$) で表現した。単位せん断力あたりのクリープずれ変位 ($\delta_c/\tau(t)$) と持続載荷期間の関係を図-5 に示す。No.3-50%を除いて曲線は概ね一致している。すなわち, スタッドの降伏までの範囲では, 同一載荷時間におけるクリープずれ変位は持続せん断力と線形関係にあることが確認された。したがって, スタッドを介したコンクリートと鋼材の間のせん断応力 - せん断ずれ変位の関係においても, コンクリートの材料単体のクリープ特性と同じように, 応力レベルが低い範囲では, クリープ変形と載荷応力との比例関係(いわゆる線形クリープ則)が認められることが明らかとなった。

変動応力下における時間依存性ずれ変位

せん断力が変化した際のクリープずれ変位にどのような性質が認められるかを検討した。前節で確認したクリープずれ変位と持続せん断力の間に線形関係が認められる荷重レベルの範囲に

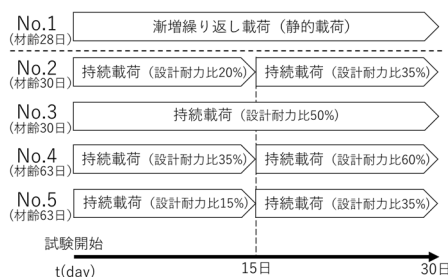


図-2 各試験体の載荷パターン

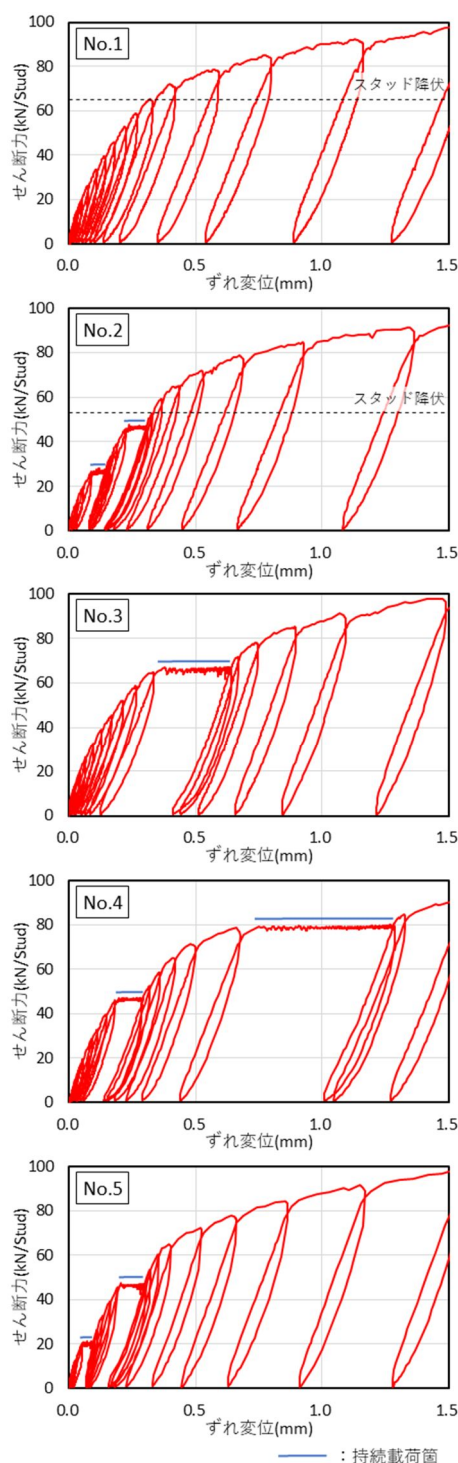


図-3 せん断力 - ずれ変位

において、せん断力が時間的に変動する場合のクリープずれ変位が重ね合わせにより評価できるか検討を行った。まず No.2-20%の単位せん断力あたりのクリープずれ変位の経時変化曲線を関数により近似し、この関数をクリープ関数とみなして持続荷重レベルを引き上げた際に増加したせん断力によるクリープずれ変位を計算し、重ね合わせることで変動せん断力下の持続荷重中のトータルクリープずれ変位を算定した。

実験値と計算値の比較を図-6に示す。せん断力増加後のクリープずれ変位において乖離が生じている。これより、重ね合わせ則では変動せん断力下のクリープずれ変位を表現できないことが示唆された。

この性質もコンクリートの材料単体のクリープ特性と共通している。

(3)まとめ

本研究では以下の知見が得られた。

- 持続荷重の影響によってスタッドが降伏するせん断力が低下することが示唆された。
- 持続荷重によるずれ変位の経時的増加はコンクリートクリープ変形とスタッドの曲率の増加により生じており、それぞれの諸元が影響を与える可能性がある。
- 単位せん断力あたりのクリープ変位よりスタッド降伏までは概ねせん断力とクリープずれ変位が線形関係であると考えられる。
- 変動せん断力下のクリープずれ変位は重ね合わせ則では再現することが出来なかった。
- 持続荷重は残留ずれ変位および除荷ずれ剛性に影響を及ぼすことを明らかにした。

(4)今後の課題

本研究で行った実験では、コンクリートが非乾燥状態における持続荷重のみの影響に着目した。コンクリートが乾燥収縮した場合、スタッドにより拘束されることにより、荷重前にコンクリートに引張応力が導入され、スタッド近傍ではコンクリートの微視的破壊が生じる可能性がある。この引張応力および微視的破壊が静的荷重および持続荷重時のせん断力 - せん断ずれ変位関係に及ぼす影響については未解明である。今後はこれらについて明らかにする必要がある。

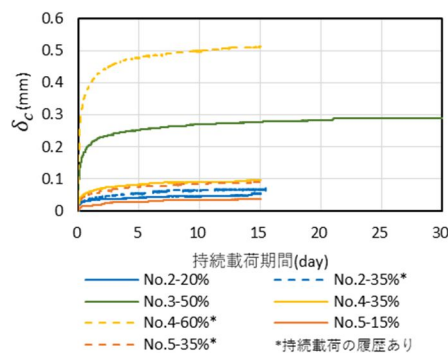


図-4 クリープずれ変位 - 持続荷重期間

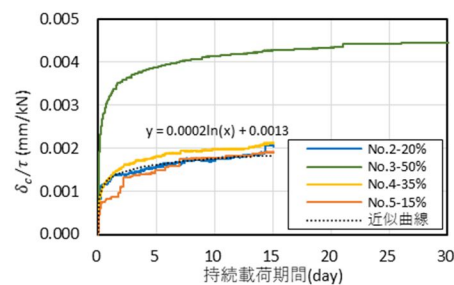


図-5 単位せん断力あたりのクリープずれ変位 - 持続荷重期間

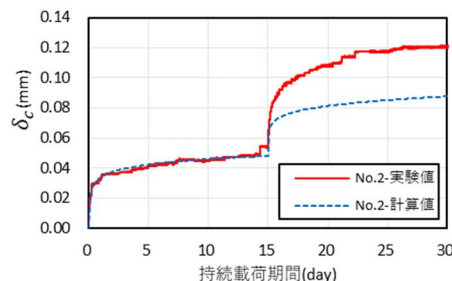


図-6 重ね合わせ則の検討結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 茨木泰介、下村 匠	4. 巻 44
2. 論文標題 頭付きスタッドを用いた鋼 - コンクリート接合部の時間依存性変形および応力伝達特性	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 685-690
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 茨木泰介
2. 発表標題 鋼コンクリート複合構造接合部における時間依存性挙動の実験的検討
3. 学会等名 第39回土木学会新潟会研究調査発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 茨木泰介
2. 発表標題 頭付きスタッドの高さが合成桁接合部の時間依存性挙動に与える影響
3. 学会等名 土木学会第77回年次学術講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	宮下 剛 (MIYASHITA TAKESHI) (20432099)	長岡技術科学大学・工学研究科・准教授 (13102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------