

平成 26 年 6 月 24 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560563

研究課題名(和文) コンクリートおよび鋼材との界面におけるクリープ挙動に基づく合理的設計手法の開発

研究課題名(英文) Development of Rational Design Method of RC and Steel-Concrete Hybrid Structures considering Local Creep Deformation between Concrete and Steel

研究代表者

牧 剛史 (MAKI, Takeshi)

埼玉大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：60292645

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：コンクリートの収縮ひび割れ特性に関する検討においては、鉄筋の有無により引張応力や引張クリープひずみに異なる傾向を示し、鉄筋-コンクリート間の付着特性の時間依存性挙動の影響の存在を明らかにした。また、クリープを考慮した地中RC構造物-地盤系の数値解析を通じて、側壁のクリープ変形に起因する作用土圧の低減効果およびそれに基づく側壁部材厚や鉄筋量の低減可能性を明らかにし、設計合理化の可能性を示した。さらに、頭付きスタッドによる鋼-コンクリート複合構造接合部を対象として、持続的せん断力およびコンクリートへの持続的圧縮力が接合部の変形挙動に及ぼす影響を定量的に明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In the investigation on the shrinkage cracks of concrete, the tensile stress and tensile creep strain measured in concrete specimens with and without deformed bar showed different tendencies and the influence of time-dependency in bond behavior between concrete and deformed bar was clarified. By conducting the finite element analysis of underground RC structure-soil system, the active soil pressure reduction due to creep deformation of side wall and the possibility of reduction of wall thickness and reinforcement amount were clarified, which may lead to the rational design of underground RC structures. Furthermore, the influence of sustained shear and compression forces on the deformation of joint connection with stud shear connector in steel-concrete hybrid structures was quantitatively clarified.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学：構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：鉄筋コンクリート 鋼-コンクリート複合構造 クリープ 収縮ひび割れ ずれ止め 持続荷重

1. 研究開始当初の背景

異形鉄筋とコンクリートとの付着、鉄筋とコンクリートの付着クリープ特性やそれに基づく桁・床版の長期たわみ・ひび割れ予測については、過去精力的に検討されてきた。一方、収縮ひび割れの予測および抑制を念頭に、コンクリートの収縮特性についても古くから多くの検討が行われてきた。

収縮ひび割れは、配置した鋼材(異形鉄筋)による内部拘束、あるいは部材形状や部材接合面における外部拘束によって収縮が拘束されて生じるため、拘束体との付着状態が影響する。特に弱材齢では拘束体による拘束が不完全である可能性が指摘されている。また、コンクリートの自由収縮量の多少が必ずしもひび割れ発生に相関しない原因として引張クリープ特性が影響している可能性も併せて報告され、コンクリートの引張クリープ特性についても一軸供試体あるいは円環供試体を用いた実験的検討が行われてきた。ただし、引張・付着クリープを全て考慮した RC 部材の収縮ひび割れ予測手法は未だ確立されていない。

異形鉄筋の付着はふしとその近傍のコンクリートとの支圧応力が支配的であり、引張力作用時に鉄筋ふし前面のコンクリートは局所的な高圧縮応力を受ける。異形鉄筋の付着クリープはこの局所圧縮応力に伴う圧縮クリープが支配的要因の一つであると言える。一方、鉄筋に引張力が作用すると、ふしの周囲では局所的な引張応力が生じる。これはコンクリートの収縮に伴い持続的に作用することから、異形鉄筋周りの収縮ひび割れ特性の要因として、引張クリープと付着クリープの両方が考えられる。付着クリープを考慮した長期曲げひび割れ予測については李・大野らによって提案されているが、弱材齢時の引張・付着クリープ特性が収縮ひび割れに及ぼす影響については明らかにされていないと言いはし難い。また、圧縮クリープを含めた詳細なクリープ特性を明らかにすることの応用として、地中コンクリート構造物の常時設計において、若干のクリープを許容することで作用土圧の軽減を図り、設計合理化が実現できると考えられる。

また、ボックスカルバートなどの地中構造物は外力として土圧作用を受けるが、土圧は本来構造物との相互作用であり、躯体変形状態に応じて変化する。したがって、仮に躯体コンクリートにクリープや収縮による変形が生じれば、作用土圧は変化する。耐震設計の高度化も相まって、地中コンクリート構造物の諸元はクリープ抑止の点からの常時応力制限によって支配されており、設計土圧は極限理論に基づく主働ないし受働土圧によって設定されている。地下構造物の維持管理の観点から、実際に構造物に作用する土圧を推定する試みは行われているものの、実作用土圧に基づいた設計あるいは若干のクリー

プを許容することによって土圧軽減を図るような合理的設計手法は確立されていない。

一方、鋼-コンクリート複合構造ではその接合部で両者の一体化を図るために頭付きスタッドや形鋼ジベルなどのずれ止めが用いられる。例えばスタッドのせん断抵抗機構は、スタッド自体の強度とスタッド周辺のコンクリートの局所圧縮特性が支配的となる。この点で、ずれ止めの抵抗機構は異形鉄筋に類似していると言えるが、接合部のせん断クリープ特性について系統的に検討された事例は皆無である。また、ずれ止めのせん断力-変位関係は、実験の境界条件に様々差異があるものの、多くの研究者によって古くからその定式化が行われてきた。2009年に刊行された複合構造標準示方書では、接合部の照査のためのせん断抵抗力-ずれ変位関係が各種ずれ止めに対して明示された。すなわち、これまで耐力設計が行われてきた接合部に対して、今後はある限度以内のずれ変形を許容することでより合理的な設計が可能となることを示していると言える。

前述した異形鉄筋近傍のコンクリートと同様、鋼-コンクリート複合構造接合部のずれ止め近傍のコンクリートはやはり局所的な高圧縮応力を受けるため、接合部でのせん断クリープ変形が構造系の挙動に影響を及ぼす可能性が示唆される。また、接合されるコンクリート部材自体が比較的高い圧縮応力を受ける部材である場合、ずれ止めの変形能は通常よりも低下することが考えられる。よって、ずれ止めのせん断力-ずれ変位関係に基づいてずれ止めの変形を許容する設計を行うには、接合部自体のせん断クリープ特性および高圧縮応力下のコンクリート部材との接合部におけるずれ止めの変形性能について十分に把握しておくことが重要である。

以上に基づき、通常の鉄筋コンクリート部材と鋼-コンクリート複合構造とを「コンクリートと鋼材で構成される構造体」と包括的に見なし、鋼材に配置されたずれ止め(広義には異形鉄筋のふしも含む)周囲のコンクリートに生じる高応力に起因する付着クリープ(せん断クリープ)特性と、外的に高圧縮応力を受けるコンクリートとの接合部のせん断性状(せん断力-ずれ変位関係)を明らかにし、これらを精度よく予測可能な解析モデルを提案する。最終的には、引張・付着クリープを考慮した収縮ひび割れ予測手法の構築、および複合構造接合部の変形特性の構造挙動への影響度評価を行うことを目指す。

2. 研究の目的

コンクリートおよびコンクリートと鋼材との界面におけるクリープ挙動を詳細に明らかにし、これを用いて RC 部材の収縮ひび割れ予測手法を構築するとともに、クリープを考慮した地中 RC 構造物の合理的設計手

法を提案する。また、鋼材とコンクリートでずれ止めによって接合した部材接合部のクリープ挙動およびコンクリートが高圧縮応力を受ける場合のずれ止め挙動を明らかにし、これを応用してずれ止めずれ変形を許容した鋼-コンクリート複合構造の合理的な設計手法を提案することを目的とする。

3. 研究の方法

第一に、コンクリート及びコンクリートと鋼材間のクリープ挙動を考慮した RC 部材の収縮ひび割れ予測手法の開発と地中 RC 構造物の合理的設計法の開発を目指し、自由収縮量の異なる各種コンクリートを対象として、無筋コンクリートの円環供試体および鉄筋を埋め込んだコンクリートの角柱供試体を用いた検討結果の比較を通じ、コンクリートの引張クリープ特性の解明とモデル化および異形鉄筋-コンクリート間の付着クリープ挙動の解明とモデル化を行う。また、これらを導入した解析手法を用いて収縮ひび割れ予測手法の構築および地中 RC 構造物の合理的設計法の検討を行う。

第二に、鋼材とコンクリートとのスタッド接合部を対象として、鋼桁とコンクリートブロックを頭付きスタッドで接合した供試体を押抜き試験を行い、鋼桁への持続的せん断力およびコンクリートブロックへの持続的圧縮力による影響の検討を通じて、スタッド接合部のせん断クリープ挙動の解明とモデル化、高圧縮応力を受けるコンクリートと鋼材のスタッド接合部のせん断挙動の解明とモデル化を行う。これを用いて、スタッド接合部の時間依存性挙動を考慮した鋼-コンクリート複合構造の合理的な設計手法の提案を行う。

4. 研究成果

(1) クリープ挙動を考慮した収縮ひび割れ予測手法の開発とクリープの影響を考慮した地中コンクリート構造物の合理的設計法に関する検討

自由収縮量の異なる各種モルタルおよびコンクリートを対象として、円環供試体および鋼材による一軸拘束試験体を用いた収縮試験によって、コンクリートの引張クリープ特性の定量的評価を試みた。

その結果、普通セメントを用いた供試体と高炉スラグを混入した供試体では、収縮ひび割れ発生材齢までの間で導入される引張応力や引張クリープひずみにはそれほど大きな差異が見られなかった。ただし、円環供試体と一軸拘束試験体では若干異なる傾向が見受けられたことから、一軸拘束試験体では鋼材とコンクリートの間の付着特性において、クリープのような時間依存性が存在し、これが結果に影響している可能性が示唆さ

れた。

コンクリートのクリープ挙動を考慮した地中ボックスカルバート-地盤系の有限要素解析を行い、クリープの発生程度に伴うカルバート側壁の作用土圧変化の定量的把握、および部材厚や鉄筋量の低減可能性に関する数値的検討を実施した。また、同カルバートに対して地震動を入力する動的解析を実施して、カルバート躯体のクリープ変形に起因する作用土圧変化の影響を考慮した供用期間終了後の残存耐震性能に関する検討を行った。

その結果、コンクリートの圧縮クリープのみを考慮した場合、部材のクリープ変形に伴い作用土圧が小さくなる傾向が認められ、また、供用期間を通じた持続的土圧作用によっても、供用期間終了後に十分な耐震性能を有していることが確認された。また、クリープによる作用土圧の低下を考慮することにより、カルバート側壁の部材厚や鉄筋量を低減できる可能性が示唆された。

(2) 鋼-コンクリート複合構造接合部の時間依存挙動の解明とそれを考慮した複合構造物の合理的設計法に関する検討

頭付きスタッドを対象として、鋼桁とコンクリートブロックをずれ止めで接合した供試体を用いた載荷実験を行った。その際、せん断力を持続的に載荷するケースと、コンクリートブロックに圧縮力を持続的に載荷するケースの2通りを検討し、いずれも最終的には破壊に至らしめる押し抜きせん断載荷を行った。

その結果、持続せん断力の影響は、ずれ止めのずれ変位量のみに影響し、せん断耐力に対する有意な影響は見られなかった。ずれ変位量に与える影響度は持続せん断力レベルが高いほど、また、持続荷重の作用時間が長いほど大きくなるが、最大ずれ変位と残留ずれ変位の関係は、持続載荷の有無によらず一意的に決まることが明らかとなった。また、コンクリートへの圧縮載荷の影響は、荷重が持続的であるか瞬時的であるかによらず、除荷・再載荷の履歴曲線形状に影響を及ぼすとともに、同一ずれ変位に対する残留変位の割合が大きくなることが明らかとなった。

しかしながら、接合部を有する鋼-コンクリート複合構造物の全体的な構造挙動に及ぼす影響については十分な検討が実施できておらず、接合部内のある限定された領域を対象とした検討にとどまっている。今後は接合部の時間依存挙動が構造物全体挙動に与える影響の評価が課題である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 5 件)

- ① Maki, T. and Watanabe, R.: Mechanical behavior of stud shear connector under sustained shear and compression forces, Proceedings of the 3rd International Symposium on Engineering, Energy and Environment (ISEEE) (Pullman King Power Hotel, Bangkok, Thailand), 2013.11.17 ~11.19
- ② 浅本晋吾, 牧 剛史, 加藤恭介, 今野由香里: 弱材齢にクリープを促進した PC 梁のプレストレス変化と構造性能に関する研究, 第 22 回プレレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集(静岡コンベンションアーツセンター, 静岡), pp.177-182, 2013.10.24~10.25
- ③ Maki, T. and Watanabe, R.: Mechanical behavior of stud shear connector under sustained shear and compression forces, Proceedings of the 13th East-Asia Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (Hokkaido University, Sapporo), 2013.9.11~9.13
- ④ 渡辺 遼, 牧 剛史: 持続的荷重を受けるスタッド接合部の力学特性に関する研究, 土木学会第 68 回年次学術講演会講演概要集(日本大学生産工学部津田沼キャンパス, 千葉), 2013.9.4~9.6
- ⑤ 辻 貴大, 浅本晋吾, 牧 剛史, 蔵重 勲, 加藤優典: 養生温度に着目した混和材混入モルタルの収縮ひび割れ抵抗性の検討, 土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集(愛媛大学, 愛媛), 2011.9.7

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他] 特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

牧 剛史 (MAKI, Takeshi)
埼玉大学・理工学研究科・准教授
研究者番号: 60292645

(2) 研究分担者

浅本晋吾 (ASAMOTO, Shingo)
埼玉大学・理工学研究科・准教授
研究者番号: 50436333

(3) 連携研究者

なし