

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	ひずみ時効による鉄筋の特性変化の予測式の構築 その1 実験の概要及び結果
Title(English)	Prediction model for changes in reinforcement properties due to strain ageing (Part1: Experiment outline and results)
著者(和文)	Alex Shegay, 岡村光晋, 佐藤 大樹
Authors(English)	Alex Shegay, Koshin Okamura, Daiki Sato
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , pp. 11-12
Citation(English)	, , , pp. 11-12
発行日 / Pub. date	2023, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

ひずみ時効による鉄筋の特性変化の予測式の構築

その1 実験の概要及び結果

ひずみ時効 鉄筋
補修正会員 ○Alex Shegay*¹ 正会員 岡村光晋*²
正会員 佐藤 大樹*³

1. 序論

近年地震で損傷した建物の補修や再利用の意義が強まっている。補修後の建物の耐震性能変化の一つの要因としてひずみ時効がある。ひずみ時効とは塑性変形を受けた鋼材に時間の経過とともに耐力の上昇や塑性変形能力の低下が起こる現象¹⁾(図1)である。延性の低下は建物の脆性破壊を、強度の上昇は建物の破壊モードの変化を引き起こす恐れがあるため、鉄筋のひずみ時効は建物の耐震性に影響を及ぼすことが考えられる。

既往研究^{2),3),4),5)}では特定の種類の鉄筋に対してひずみ時効による延性低下および強度上昇が確認されているが、その影響の一般化した予測手法は構築されていない。そこでひずみ時効による鉄筋の特性変化を計測する実験の概要および特性変化に影響を及ぼす因子の特定を本報その1の目的、それらを用いた特性変化の予測式の構築を本報の最終的な目的とする。

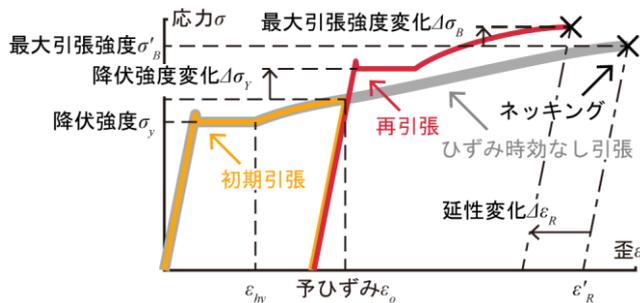


図1 鉄筋のひずみ-応力曲線模式図

2. 実験概要

本報では材料特性によるひずみ時効の鉄筋への特性変化の差異を分析する実験(以下、材料特性条件に関する実験, 3章)と、ひずみ時効条件による特性変化の差異を分析する実験(以下、ひずみ時効条件に関する実験, 4章)の2種類に大別し、それぞれについて分析を行う。

鉄筋を特定のひずみ(以後、予ひずみ ϵ_0)になるまで引張った後、特定の期間(以後、時効期間 t_A)の時間経過をさせることでひずみ時効を発生させる。この際、時効期間が長い(本実験では3ヵ月以上)鉄筋は加熱によるひずみ時効の促進⁶⁾を行い実験期間の短縮を図る。この鉄筋を再び破断まで引張ることで延性や強度の差異を計測した。

引張試験時のセットアップ図を図2に示す。なお本報では延性の評価指標としてネッキング時のひずみを、強度の評価指標として引張強度および降伏強度を用いた。ネッキ

ング時のひずみは鉄筋につけた6つのパンチマーク(図3)の間の距離を引張前後で測り、その変位の中央値を用いた。また引張強度および降伏強度は動歪計を用いて計測し、引張強度には応力の最大値を、降伏強度には0.2%オフセット耐力を用いた。

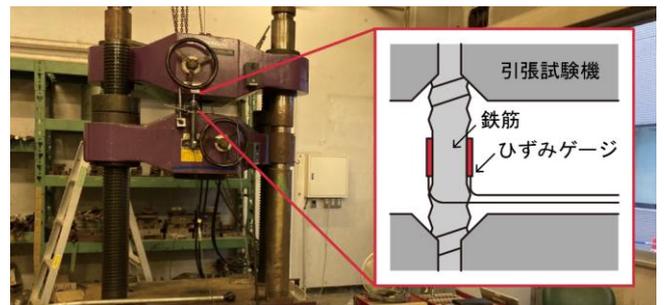


図2 試験時セットアップ図

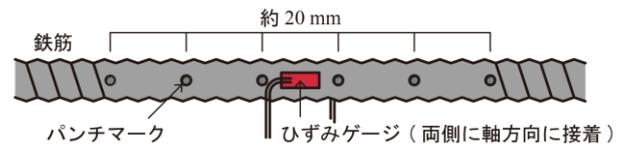


図3 パンチマーク

3. ひずみ時効の発生に影響する材料特性の特定

複数の鋼種および径の鉄筋(SD295A, SD345, SD390およびSD490の鋼種, D13~D32の径の計11種類)に対して予ひずみ $\epsilon_0 = 3\%$ および時効期間 $t_A = 1$ 年という同一の条件でひずみ時効を発生させることで、ひずみ時効の発生に影響する材料特性条件の特定を行う。実験マトリクスを表1に示す。

各鋼種の代表的な引張試験時のひずみ-応力曲線を図4に示す。図4(a), (b), (c)よりSD295A, SD345およびSD390ではひずみ時効が発生し降伏強度が上昇していること、図4(d)よりSD490ではひずみ時効が発生せずひずみ-応力曲線に変化がないことが見て取れる。

鉄筋の規格に関わらず一般的な傾向を確認するため、既往研究⁹⁾によりひずみ時効の発生原因と判明している炭素Cの含有率 λ_C およびひずみ時効の発生を阻害することが知られているバナジウムVの含有率 λ_V によるひずみ時効の影響について分析する。例としてひずみ時効による強度上昇の指標とした降伏強度変化率 β_Y の定義を式(1)に(σ_y は初期引張時の降伏強度, $\Delta\sigma_Y$ はひずみ時効による降伏強度変化を示す(図1)), λ_C および λ_V と降伏強度変化率 β_Y

の関係を図5の散布図部分に示す。図5(a)より λ_C と β_Y の間には明確な傾向が見られず、一方で図5(b)より λ_V が上昇するとひずみ時効による降伏強度上昇が抑えられ、 λ_V が0.06%程度でひずみ時効による降伏強度上昇が発生していないことがわかる。この λ_V と β_Y の関係は線形に見てとれるため、図5の破線部のように最小二乗法を使用した式(2)のような1次式による予測が行えると考えられる。なお、この式(2)は $\varepsilon_0 = 3\%$ および $t_A = 1$ 年という条件に限定した範囲での予測式である。

$$\beta_Y = \Delta\sigma_Y / \sigma_Y \quad (1)$$

$$\beta_Y = 0.22 - 350\lambda_V \geq 0 \quad (2)$$

表1 実験マトリクス (材料特性条件に関する実験)

	鋼種			
	SD295A	SD345	SD390	SD490
径				
D13	3本	3本	3本	
D16		3本		
D19		3本	3本	3本
D22		3本		
D25		3本		
D29		3本		
D32		3本		

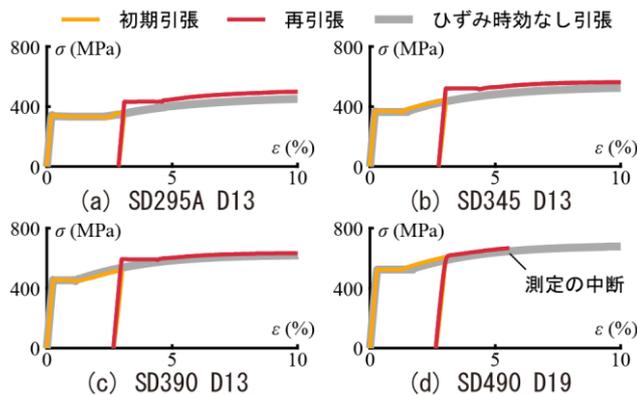


図4 代表的なひずみ-応力曲線

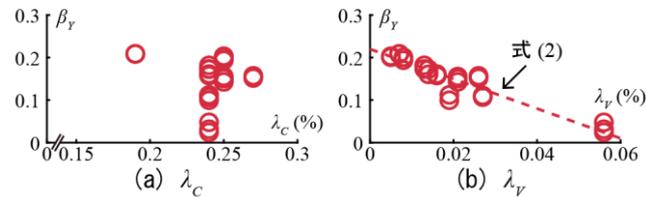


図5 含有率ごとの降伏強度上昇率 β_Y

4. ひずみ時効条件に関する実験

ここでは予ひずみと時効期間の条件によってひずみ時効の発生程度を検討することが目的である。そこで1種類の鉄筋 (SD345, D19) を用いて、予ひずみ ε_0 は0.5%, 1%, 2%, 4%, 8%の5条件、時効期間 t_A は1週間, 1ヵ月, 3ヵ月, 6ヵ月, 1年の5条件、計25条件の組み合わせで実験を行った。

代表的なひずみ-応力曲線を図6に、 t_A および ε_0 に対する β_Y の関係を図7に示す。図6および図7より概ね ε_0 が大きく、 t_A が長い試験体がひずみ時効による降伏強度上昇が大きいことが見て取れる。またパンチマーク間の距離の変位から計測した延性については概ね ε_0 が大きく、 t_A が長い試験体の低下が大きいことを確認した。なお、 ε_0 が8%の t_A が3ヵ月以上の鉄筋については再引張時にほとんど塑性変形が発生せず、ネッキングが開始しているため、ひずみ時効による深刻な延性の低下が発生したことが見て取れる。したがって、ひずみ時効による特性変化を大きくする因子として ε_0 および t_A が挙げられることを確認した (詳細は本報その2で後述する)。

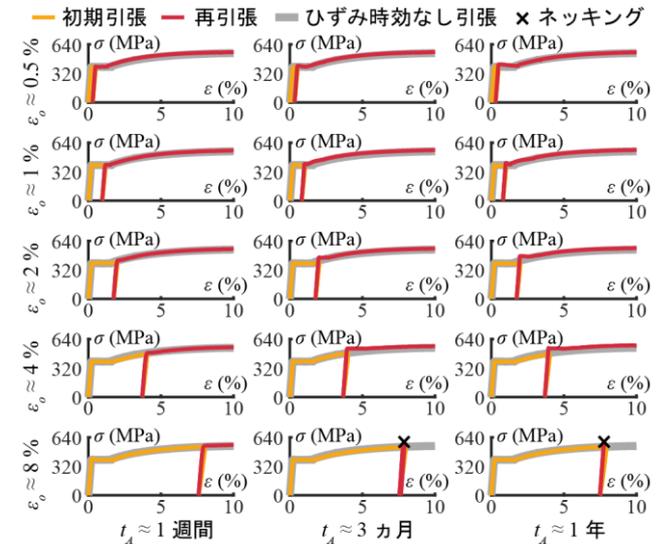


図6 代表的なひずみ-応力曲線

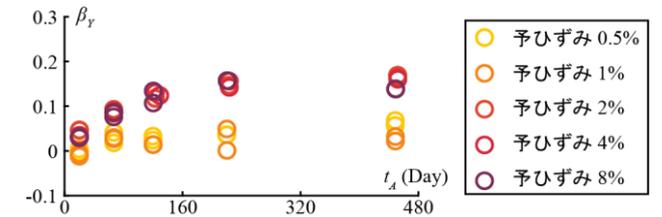


図7 時効期間および予ひずみと降伏強度上昇率の関係

5. 結論

本報その1ではひずみ時効による延性の低下および強度の上昇という特性変化を抑制する因子としてバナジウム含有率 λ_V が、特性変化を大きくする因子として時効期間 t_A および予ひずみ ε_0 が挙げられることを確認した。この3因子を用いたひずみ時効による鉄筋の特性変化の予測式の構築および検証を本報その2で行う。

謝辞および参考文献は本報その2に示す。

*1 東京工業大学 科学技術創成研究院 助教・Ph.D.
 *2 東京工業大学 環境・社会理工学院 大学院生
 *3 東京工業大学 科学技術創成研究院 准教授・博士(工学)

Assistant Professor, IIR, Tokyo Institute of Technology, Ph.D.*1
 Graduate Student, Tokyo Institute of Technology*2
 Associate Professor, IIR, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.*3