鉄筋作用応力がコンクリート構造物の構造性能に及ぼす影響

東京工業大学　学生会員　○小田切　勝也
東京工業大学　正会員　岩波　光保

1．序論

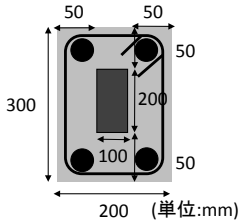
今後，高度経済成長期に多く整備されたインフラの急速な老朽化が予想され，インフラの維持管理にかかる費用も加速度的に増大していくことが予想される．そのため，効率的にインフラを維持管理していく必要がある．効率的な維持管理には，構造物の状態を正確に把握し，定量的に評価することが重要である．本研究では，コンクリート構造物中の鉄筋作用応力に着目した．一般に鉄筋の腐食や変形，コンクリートの収縮や膨張などによって，鉄筋に応力が作用する．この鉄筋作用応力をコンクリート構造物の残存構造性能評価に活用すれば，構造物の状態をより正確に把握し，定量的に評価を行う上で非常に有用な情報となり得るものと考えられる．現状，鉄筋作用応力の推定手法として，X 線回折法による方法などが検討されてきた[1]．そこで，本研究では，鉄筋作用応力がコンクリート構造物の構造性能，とりわけ，部材のせん断耐荷力に及ぼす影響を検討した．

2．試験体概要

試験体シリーズは膨張コンクリートの膨張力が鉄筋に対して内力となる内力型試験体および外力となる外力型試験体の 2 つである（**表－1**，**表－2**）．試験体の設計破壊モードは斜め引張破壊とし，鉄筋作用応力によるせん断耐荷力の低下を想定した．I-EX-60 は，全て膨張コンクリートとした．E-EX-60 は，ASR などのコンクリートの膨張が生じた構造物の RC 巻き立て補強を模擬し，表面から 50mm より内側を膨張コンクリート，外側を普通コンクリートとした．膨張コンクリートには，石灰系の低添加型膨張材を用いた（**図－1**，**表－3**）．

表－1 試験体の種類と寸法（単位（mm））

試験体シリーズ	試験体	高さ	幅	長さ	せん断スパン	有効高さ	スターラップ配置間隔
内力型試験体(I)	I-EX-0	200	150	1500	480	160	160
	I-EX-60						
外力型試験体(E)	E-EX-0	300	200	1800	690	270	230
	E-EX-60						



図－1 E-EX-60 の断面図

表－2 鉄筋の種類と降伏強度（単位（MPa））

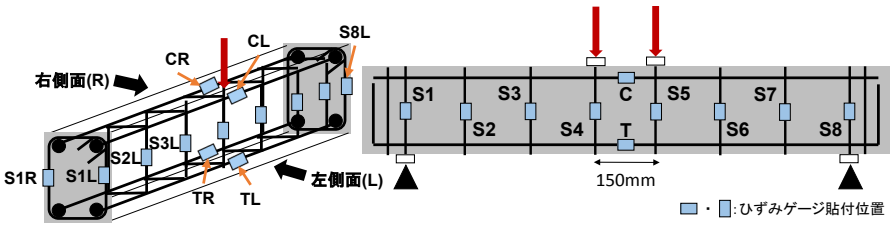
試験体	主鉄筋（圧縮/引張）SD390 D22	スターラップ SD295A D6
I-EX-0	442	388
I-EX-60		
E-EX-0	433	350
E-EX-60		

表－3 コンクリートの種類と仕様

	普通コンクリート	膨張コンクリート(I)	膨張コンクリート(E)
f'_{cd}(MPa)	30		
W/B(%)	55	45	55
膨張材(kg/m^3)	0	60	60

3．養生条件と載荷試験概要

内力型試験体は打設後 7 日間の封緘養生の後，載荷試験を行った．外力型試験体は，普通コンクリートの材齢が同一になるように，E-EX-0 は打設後 14 日間の封緘養生，E-EX-60 は外側普通コンクリートの打設後 7 日間封緘養生の後，内側膨張コンクリートの打設および 7 日間封緘養生をそれぞれ行ってから，載荷試験を行った．載荷試験は，等曲げモーメント区間が 150mm の荷重制御による 2 点載荷である（**図－2**）．



図－2 試験体の形状・ひずみゲージ貼付位置・載荷試験概要

キーワード　鉄筋，コンクリート，作用応力，構造性能，せん断耐荷力，維持管理
連絡先　〒152-8552　東京都目黒区大岡山 2-12-1　東京工業大学 環境・社会理工学院　ＴＥＬ03-5734-3194

© Japan Society of Civil Engineers

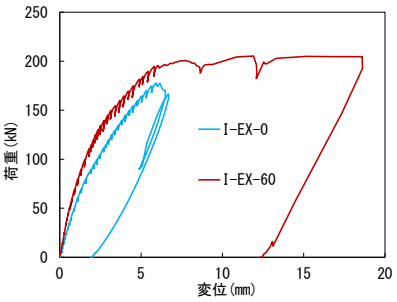
４．載荷試験前の鉄筋作用応力

載荷試験前の内力型試験体のスターラップの応力は，ほぼ均一に作用しており，平均で 285MPa であった．一方，外力型試験体の作用応力は，スターラップによって不均一で，全体として右側面(R)の方が大きく，中には降伏強度を上回っているものもあった．左側面(L)は平均で 58MPa, 右側面(R)は応力換算すると最大で 2545MPa，最小で 236MPa であった．

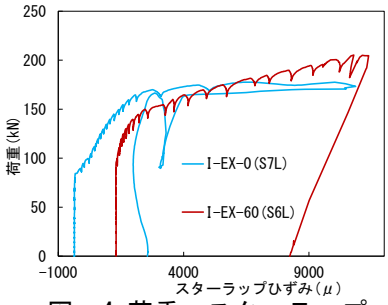
５．載荷試験結果

5-1. 内力型試験体(I)

試験体の設計破壊モードは斜め引張破壊であったが，I-EX-60 では最大荷重は増加し，曲げ引張破壊となった（**図－3**）．また，**図－4** のように，I-EX-60 ではスターラップの降伏荷重は低下したが，スターラップの降伏後も載荷荷重が増加し続けた. 破壊後のひび割れを比較すると, I-EX-60 の方が斜めひび割れ周辺の損傷が小さく，ひび割れの進展も緩やかであった．したがって，斜めひび割れが発生しスターラップが降伏した後も，鉄筋の拘束効果により，斜めひび割れの進展が抑制されたため，せん断耐荷力が曲げ耐荷力を上回り曲げ引張破壊となったものと考えられる．



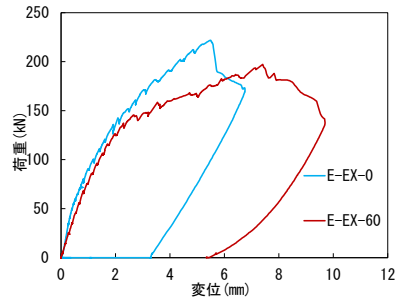
図－3 荷重－変位関係



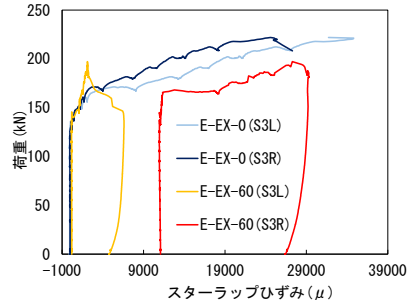
図－4 荷重－スターラップひずみ関係

5-2. 外力型試験体(E)

この試験体シリーズでは，どちらの試験体も斜め引張破壊し，E-EX-60 の最大荷重は E-EX-0 に比べて 25kN 低下した（**図－5**）．また，内力型試験体とは異なり，斜めひび割れ周辺の損傷程度やひび割れの進展性に大きな違いは見られなかった．さらに，**図－6** のように，E-EX-60 では，スターラップがすでに降伏していた S3R と降伏していなかった S3L で挙動が全く異なっているのがわかる．こうしたことから，右側面スターラップの作用応力を降伏強度（350MPa）とし，左側面スターラップの作用応力の平均（58MPa）と平均化（204MPa）し，それを試験体全体のスターラップの作用応力として, 降伏強度から差し引いてせん断耐荷力を算定すると, E-EX-0 と E-EX-60 の耐力差は 26kN となり，試験体間の実験値と計算値の差はほぼ一致した．



図－5 荷重－変位関係



図－6 荷重－スターラップひずみ関係

６．考察

膨張コンクリートの膨張力が鉄筋に対して内力となる内力型試験体では，コンクリートの膨張によって鉄筋に応力が作用するということは，その分コンクリートは鉄筋から反作用として拘束を受けていると考えられる [2)]．したがって，こうした鉄筋とコンクリートの相互作用により，ひび割れの進展や骨材の噛み合わせ作用などのひび割れ抵抗性が増加したため，せん断耐荷力は低下しなかったものと考えられる．一方，外力型試験体では，鉄筋もコンクリートも外力を等しく受けるので，鉄筋とコンクリートの相互作用の関係は成り立たず，鉄筋作用応力が直接的にせん断耐荷力の低下を引き起こしたものと考えられる．

７．まとめ

鉄筋作用応力を構造性能評価に活用するにあたっては，作用要因の判別が重要であり，外力による鉄筋作用応力の場合，残存構造性能を定量的に評価する指標の一つとなり得るものと考えられる．

参考文献：1) 小田切勝也，田中樹由，野末秀和，岩波光保: X 線回折法による鉄筋の残留応力推定手法の開発，コンクリート工学年次論文集，Vol.39，No.1，pp.1867-1872，2017．2) 古谷明寿，細田暁，岸利治：膨張コンクリートの曲げ部材におけるひび割れ抵抗性に対する多軸拘束の効果，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.3，pp.589-594，2001．

© Japan Society of Civil Engineers