

繰返し載荷による鉄筋の破断と構造応答の変化に関する解析的検討

北武コンサルタント株式会社 正会員 ○坂口 淳一
株式会社コムスエンジニアリング 正会員 土屋 智史
北武コンサルタント株式会社 正会員 渡辺 忠朋

1. はじめに

コンクリート構造物の性能を経時変化させる要因として、材料劣化や、クリープ・収縮によるコンクリートの体積変化、車両交通等による繰返し載荷による材料損傷が挙げられる。このうち、繰返し載荷による材料損傷は、コンクリートの材料損傷と鉄筋の破断があるが、土木学会コンクリート標準示方書 [設計編]¹⁾においては、設計断面に対する構成材料の変動応力の応答値と疲労強度に基づき照査することとしている。

一方、繰返し載荷により破壊に至る現実の挙動は、例えば鉄筋の破断について、破断した鉄筋が負担していた応力が残りの軸方向鉄筋に再分配されながら破断本数が増加してゆき、部材の破壊に至る²⁾。したがって、繰返し載荷による材料損傷によっても、材料劣化やコンクリートの体積変化と同様に、耐力や変形、ひび割れ幅等の応答が変化し、構造性能が低下する。

そこで本検討では、繰返し載荷による軸方向鉄筋の破断により破壊に至った載荷試験²⁾を対象に、破断による鋼材量の減少を考慮した有限要素解析により、破断に伴う変位や鉄筋応力等の応答値の変化を確認した。

2. 解析概要

図-1 に、解析対象とする繰返し載荷試験 (2 点載荷、正弦波 3 Hz) の供試体を示す。載荷試験では、表-1 に示すように一定荷重振幅の上限値を変数とした 4 体について、破壊に至るまで載荷している。表中には、載荷試験による軸方向鉄筋応力の初期値、最初の鉄筋破断および供試体が破断に至った載荷回数を示している。

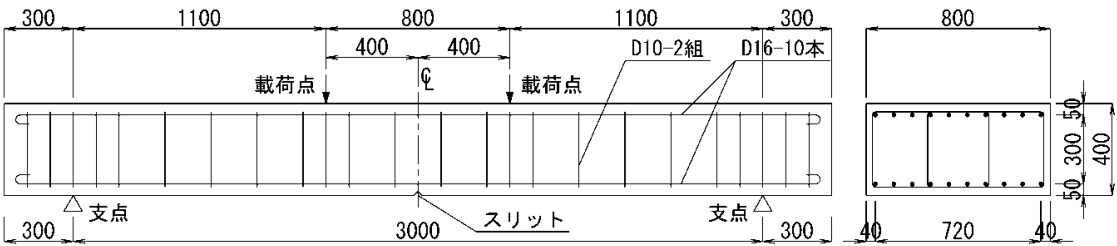


図-1 解析対象の供試体の形状及び配筋²⁾

表-1 載荷試験結果の概要²⁾

No.	載荷荷重 (kN)		鉄筋応力度 (N/mm ²)			最初の鉄筋破断 N _i	供試体破断 N _f
	P _{max}	P _{min}	σ _{max}	σ _{min}	S _{r0}		
1	362.8	29.4	366.2	85.2	327.2	1.63×10 ⁵	2.59×10 ⁵
2	343.2	29.4	309.5	81.1	263.9	2.48×10 ⁵	4.19×10 ⁵
3	274.6	29.4	259.1	77.9	208.1	7.47×10 ⁵	1.394×10 ⁶
4	245.2	29.4	223.0	73.7	170.0	6.74×10 ⁶	8.710×10 ⁶

鉄筋応力度は、初期値を示す。載荷荷重は、2 載荷点の合計を示す。

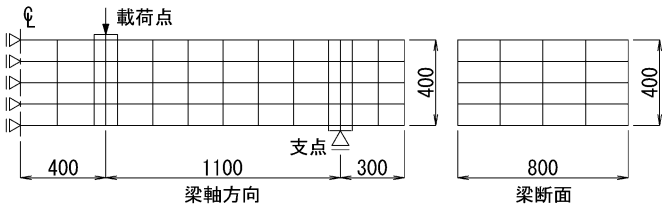


図-2 三次元解析モデル

解析モデルは、対称性を考慮して図-2 に示す 1/2 モデルとした。使用材料の特性値は、軸方向鉄筋 D16 の降伏強度が 407.9 N/mm²、引張強度が 602.4 N/mm²、コンクリートの材齢 28 日の圧縮強度が 35.5 N/mm²である。

材料構成則は、コンクリート標準示方書設計編¹⁾に準拠する非線形材料構成則を基本として、コンクリートの高サイクル疲労損傷の影響を考慮したモデル³⁾を用いた。鉄筋破断による鋼材量の減少は、供試体の軸方向鉄筋に用いたものと同一の鉄筋 25 本に対して実施された疲労試験結果 (5 つの応力振幅レベル、正弦波 10 Hz) をもとに、正規分布を仮定して破断順序ごとの S-N 曲線 (1 本目: 生存確率 95 %, 2 本目: 生存確率 85 %, 3 本目: 生存確率 75 %, 4 本目: 生存確率 65 %, 5 本目: 生存確率 55 %)

キーワード 疲労, 鉄筋破断, 構造性能, 非線形有限要素解析

連絡先 〒062-0020 北海道札幌市豊平区月寒中央通 7 丁目 4-7 北武コンサルタント(株) TEL 011-851-3181

3 本目：生存確率 75 %・・・) を算定して、それぞれの破断順序に対してマイナー則による被害度が 1.0 に達するごとに鉄筋 1 本分の鋼材量を減少させた。

3. 解析結果

図-3 に、最大荷重時の支間中央のたわみと載荷回数の関係を示す。図の縦軸は、初載荷時のたわみに対する比を、横軸は、破壊時の載荷回数に対する比を表している。破壊時の載荷回数 N_f は変位が急増する直前の回数とした。図より、 $0.8 N_f$ を超えてから鉄筋破断が始まり、たわみが段階的に増加している。

図-4 に、最大荷重時の支間中央の鉄筋応力と載荷回数の関係を示す。図の縦軸は、降伏強度に対する比を、横軸は破壊時の載荷回数に対する比を表している。図より、 $0.8 N_f$ を超えてから鉄筋の破断に伴い軸方向鉄筋の応力が増加しており、破壊時には、いずれのケースも降伏応力に達している。このことは、破断本数の増加によって耐力が低下し、一定荷重振幅の最大荷重を下回ったときに、断面破壊に至っていることを表している。また、破壊に至るまでの鉄筋応力の増加は、ひずみの増加によるひび割れ幅の拡大を示唆している。

図-5 に、変動応力と最初の鉄筋破断時および破壊時の載荷回数の関係を示す。縦軸の変動応力は、初載荷時の応力を示している。図中には、実験結果²⁾を併せて示した。図より、各供試体の最初の鉄筋破断が生じる載荷回数 N_i を過大に評価している傾向にあるが、高繰返し回数となる No.4 を除き、破壊時の載荷回数を概ね評価できていることがわかる。

4. まとめ

本検討では、軸方向鉄筋の破断を逐次考慮した解析により、鉄筋の破断本数の増加によって、部材の変形や鉄筋応力が増加することを確認した。また、一定荷重振幅に対して、鉄筋の破断による鋼材量の減少によって耐力が低下することで、断面破壊に至っていることを示した。軸方向鉄筋の破断を逐次、考慮することで、破壊時の載荷回数を概ね再現することができた。

謝辞

本検討にあたり、土木学会コンクリート委員会 コンクリート構造物の設計と連成型性能評価法に関する研究委員会 性能評価 WG の委員の皆様より、本検討に関して貴重なご意見を頂きました。この場を借りて、深謝の意を表します。

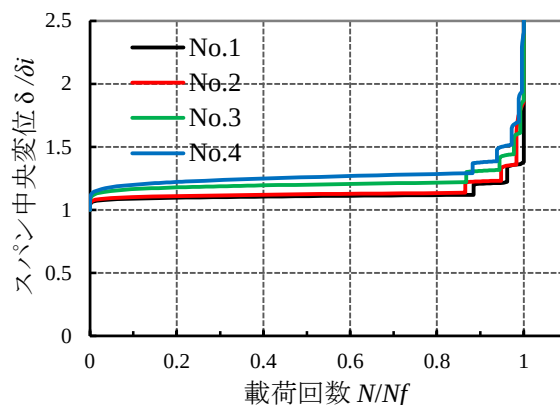


図-3 最大荷重時のたわみと載荷回数の関係

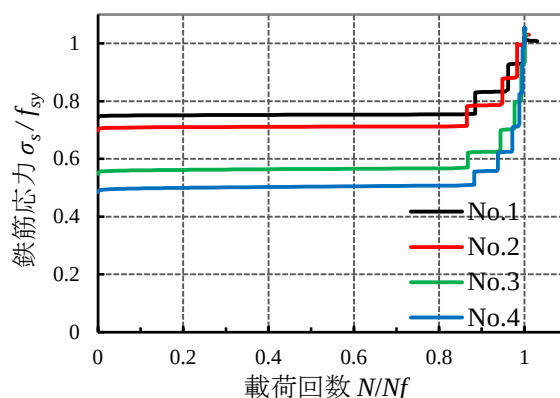


図-4 最大荷重時の鉄筋応力と載荷回数の関係

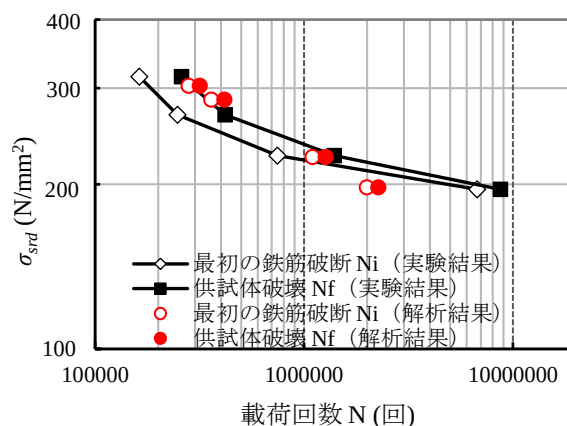


図-5 変動応力と疲労寿命の関係

参考文献

- 1) 土木学会，2012 年制定 コンクリート標準示方書〔設計編〕，2013
- 2) 松本信之，山住克己，宮本征夫：他本数の引張鉄筋を有するコンクリート梁の疲労寿命，鉄道総研報告，Vol.4, No.7, pp.22-29, 1990.
- 3) Maekawa, K., Gebreyouhannes, E., Mishima, T. and An, X. : Three-dimensional fatigue simulation of RC slabs under traveling wheel-type loads, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol.4, No.3, pp.445-457, 2006.