

せん断補強筋のないRCはりのせん断抵抗機構に基づく 繰返し载荷後の残存せん断耐力と破壊形態に及ぼす作用荷重の影響に関する一考察

日本大学 正会員 ○山田 雄太

1. はじめに

鉄筋コンクリート (RC) はりのせん断疲労現象に関する大局的な知見は把握されているものの、耐荷機構に立脚したせん断疲労寿命予測式の構築には至っていない。

RC はりのせん断抵抗機構はアーチ機構およびビーム機構に分解できることが知られているが¹⁾、各耐荷機構の荷重寄与分に着目することでせん断疲労現象を合理的に説明できる可能性が高い。

RC はりのせん断疲労実験は、破壊に至るまで繰返し荷重の载荷を継続して行われることが一般的であり、この条件下において作用荷重とせん断抵抗機構の相互作用により破壊形態が異なることや²⁾、アーチ機構の卓越するはりでは上限荷重が小さい場合、疲労寿命が相対的に小さくなることが明らかにされている³⁾。しかしながら、繰返し载荷後の残存耐力と破壊形態に及ぼす作用荷重の影響について耐荷機構の観点から解明を試みた研究は見受けられない。この影響が明らかになれば、繰返し荷重の作用下にあり、偶発荷重を受ける RC はりの挙動の予測に寄与することに加え、耐荷機構に立脚したせん断疲労寿命予測式の構築に繋がる。

本研究では RC はりにおけるせん断疲労現象の解明を目的としてせん断抵抗機構に着目し、静的载荷実験および有限要素解析を行うことで作用荷重が繰返し载荷後の残存耐力と破壊形態に及ぼす影響の解明を試みた。

2. 有限要素解析モデルの妥当性

図-1 に対象とした試験体の寸法および形状を示す。耐荷機構の推移がより明確なせん断スパン比が 2.0 のショートビームを対象とした。図-2 に解析メッシュモデルを示す。有限要素には 8 節点のアイソパラメトリック要素を用い、要素の基本構成則には多方向非直交固定ひび割れモデルを選んだ。引張軟化挙動には指数曲線型モデルを適用した。モデルに適用される指数は要素寸法と *fib* により提案されている破壊エネルギー算出式を用いて算出した。圧縮軟化挙動には、前川・岡村により提案されている構成則を適用した。

解析モデルの妥当性を確認するため、ひび割れ分布および最大主ひずみ分布、アーチ機構寄与分 (V_a) およびビーム機構寄与分 (V_b) の推移を実験結果と比較した。実験では、耐荷機構の定義に基づき耐荷機構の寄与率について微分方程式を解くことで、支点位置および载荷点位置

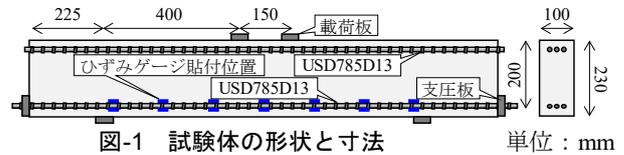


図-1 試験体の形状と寸法 単位: mm

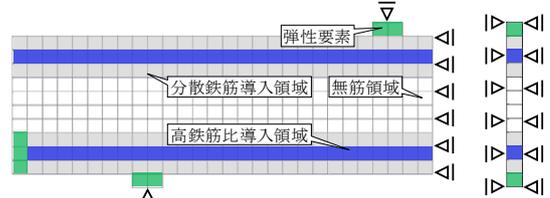


図-2 解析メッシュモデル

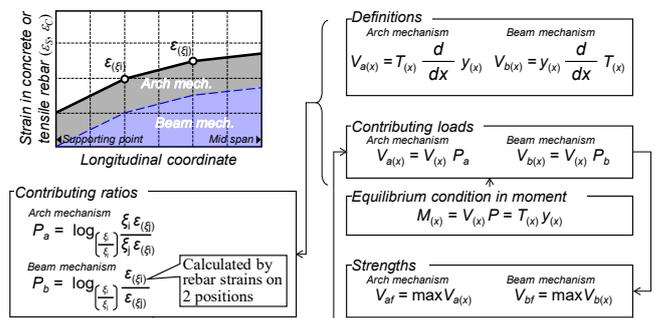


図-3 実験結果に基づく V_a および V_b の算出手法

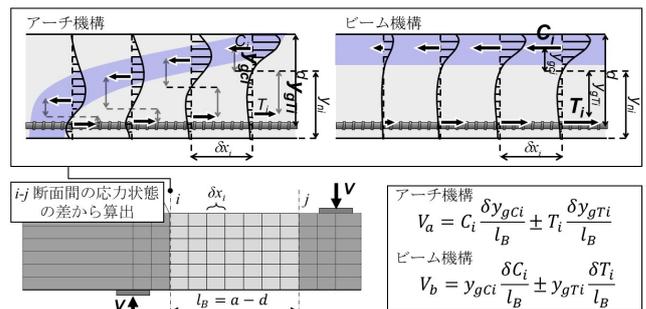


図-4 解析における耐荷機構の分解手法

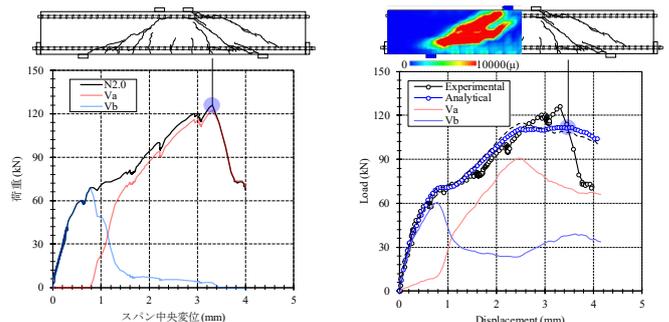


図-5 耐荷機構の推移と終局時におけるひび割れ分布図および最大主ひずみ分布の比較

キーワード RC はり, せん断抵抗機構, 疲労, 残存せん断耐力

連絡先 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14 TEL 03-3259-0670

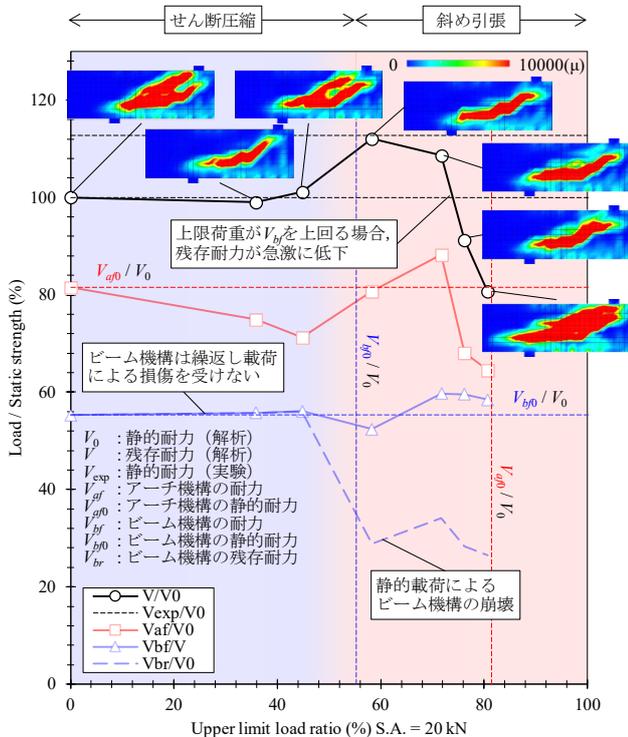


図-6 上限荷重比と残存耐力および破壊形態の関係

の鉄筋ひずみから V_a および V_b を算出した (図-3). 解析では, 軸方向応力分布から算出した合力の作用位置およびその大きさから V_a および V_b を算出した (図-4).

図-5 に耐荷機構の推移と終局時におけるひび割れ分布図および最大主ひずみ分布の比較を示す. 荷重変位関係, 耐荷機構の推移, 破壊形態および最大主ひずみ分布はそれぞれ実験結果と概ね一致していることから本解析モデルを用いて疲労解析を行った.

3. 作用荷重が残存耐力および破壊形態に及ぼす影響

表-1 に解析ケースを示す. 上限荷重を解析変数とした計 7 ケースの解析を行った. 所定の上限荷重まで載荷した後, 荷重制御にて 2000 回の静的繰返し載荷を行い, 変位制御にて終局に至るまで静的載荷を行った. 荷重振幅は一律に 20kN とした.

図-6 に上限荷重比と残存耐力および終局時における最大主ひずみ分布を示す. 上限荷重がビーム機構の静的耐力 (V_{b0}) を下回る場合, 残存耐力は静的耐力と同程度の値を示すが, 上限荷重が V_{b0} を上回り, 上限荷重比が 80% 程度である場合, 残存耐力は静的耐力に対して 80% 程度まで低下した. 破壊形態に着目すると, 上限荷重が V_{b0} を上回る場合, 静的載荷時と比較して破壊形態が異なり, 斜め引張破壊的な破壊形態を呈することを確認した. 上限荷重が V_{b0} を上回る場合, 発生した斜めひび割れの進展が繰返し載荷により促進されることで, 斜め引張破壊的な破壊形態を呈したものと考えられる.

図-7 に各耐荷機構の耐力を基準とした上限荷重比と各耐荷機構における残存耐力との関係を示す. ビーム機構の残存耐力は上限荷重の大きさに依らず一定であること

表-1 解析ケース

解析ケース名	作用繰返し回数	上限荷重 (kN)	下限荷重 (kN)
N2-0	2000	0	0
N2-40		40	20
N2-50		50	30
N2-65		65	35
N2-80		80	60
N2-85		85	65
N2-90		90	70

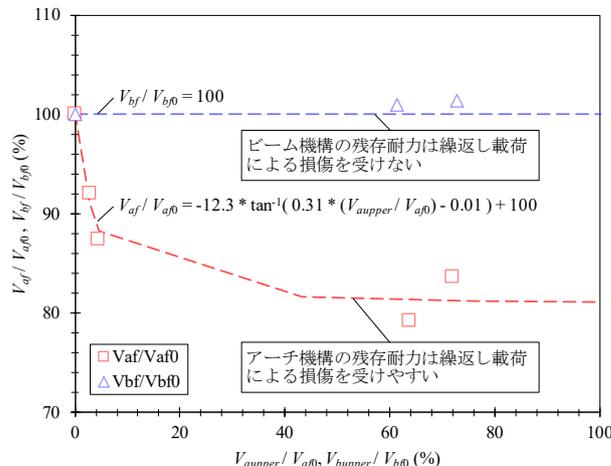


図-7 各耐荷機構における上限荷重比と残存耐力の関係

から, 繰返し載荷による損傷を受けにくいのに対し, アーチ機構の残存耐力は上限荷重の増加に伴い低下することから繰返し載荷による損傷を受けやすいことが推察される. 上限荷重が V_{b0} を上回る場合, はりの残存耐力の低下が顕在化する原因はアーチ機構における残存耐力の低下であることが明らかとなった.

4. まとめ

有限要素解析の結果から得られた主な知見を以下に記す.

- 1) 上限荷重がビーム機構の静的耐力を上回る場合, 荷重振幅が静的耐力の 16%程度で繰返し回数が比較的小さい 2000 回の領域においても残存耐力は静的耐力に対して低下し, 破壊形態も変化した.
- 2) ビーム機構の残存耐力は上限荷重の大きさに依らず一定であるのに対し, アーチ機構の残存耐力は上限荷重比が 20%程度以下の範囲においても著しく低下した.

参考文献

- 1) Park, R., Paulay, T.: Reinforced Concrete Structures, John Wiley & Sons, New York, 1975.
- 2) 梶貝勇: 鉄筋コンクリートはりのせん断破壊に関する基礎研究, 土木学会論文報告集, Vol.279, pp.113-126, 1978.11.
- 3) 山田雄太, 千々和伸浩, 岩波光保: 引張主鉄筋に沿う人工損傷の長さがせん断補強筋の無い RC はりの疲労耐荷機構に及ぼす影響, 土木学会論文集 E2, Vol.73, No.3, pp.323-336, 2017.8.