

修正圧縮場理論による RC 梁の動的せん断耐力の評価

防衛大学校 学生会員 ○アモンテッポ・ソムラート
防衛大学校 正会員 藤掛 一典

1. はじめに

衝撃・爆破のような動的载荷により鉄筋コンクリート (RC) 構造物は脆性的なせん断破壊を起こすことが懸念されるため、動的せん断耐力の評価が重要となる。これまでにせん断スパン比が 2.5 以下のいわゆるディーブビームと呼ばれる RC 梁の動的せん断耐力の評価にはストラット・タイモデルの適用が可能であることを示した¹⁾。しかしながら、せん断スパン比が 2.5 以上の RC 梁の動的せん断耐力の評価方法に関する研究はほとんどなされていないのが現状である。そこで本研究では、静的载荷に対する修正圧縮場理論を動的载荷に拡張してせん断スパン比が 2.5 以上の RC 梁の動的せん断耐力の評価を試みた。

2. 修正圧縮場理論による動的せん断耐力の解析方法

修正圧縮場理論は Collins ら によって提案された RC 部材のせん断耐力を求めるための解析手法である。中村ら²⁾はこの手法の適用は一様なせん断力を受ける RC 部材に限られ、曲げモーメントとせん断力を同時に受ける RC 梁に適用することは困難であるとし、その点を改良した解析手法を提案した。本研究では、中村らによって提案された修正圧縮場理論を基礎として、図-1 に示すようにコンクリートの圧縮強度・引張強度ならびに鉄筋の降伏強度に载荷速度が及ぼす影響を考慮することにより動的载荷に拡張する。

図-2 に示すように単純支持された RC 梁が中央载荷によって純せん断変形すると仮定すると、せん断ひずみ速度($\dot{\gamma}$)と変位速度には次の関係がある。

$$\dot{\gamma} = 2\dot{\delta}/L \quad (1)$$

また、式(1)と主ひずみ速度とせん断ひずみ速度の関係より

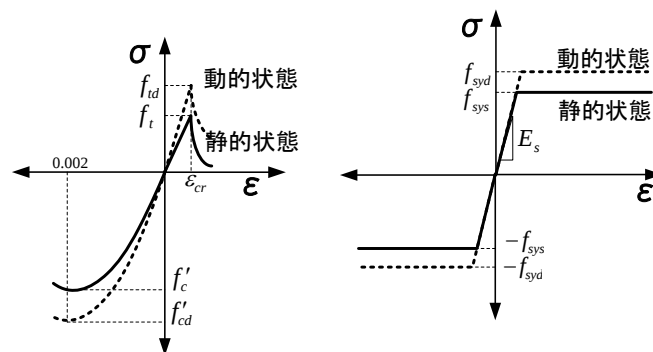
$$\dot{\epsilon} = \dot{\delta}/L \quad (2)$$

ここでは、式(2)で表される主ひずみ速度($\dot{\epsilon}$)を用いてコンクリートや鉄筋の動的強度を次式により評価する。

コンクリートの動的圧縮強度 f'_{cd} ³⁾

$$f'_{cd} = f'_c \left(\frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_s} \right)^{0.006 \left[\log_{10} \left(\frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_{sc}} \right) \right]^{1.05}} \quad (3)$$

コンクリートの動的引張強度 f'_{td} ⁴⁾



(a) コンクリート (b) 鉄筋
図-1 コンクリート及び鉄筋の応力ひずみ関係

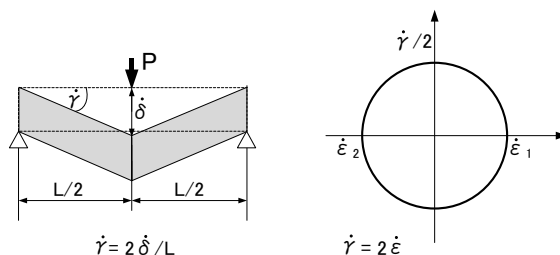


図-2 純せん断状態

表-1 RC 梁の急速载荷試験の概要

梁の諸元及び载荷速度	値
断面サイズ (H×bw)	220mm×120mm
有効高さ (d)	180mm
せん断スパン比 (a/d)	3.33
コンクリートの圧縮強度	30 N/mm ²
軸方向鉄筋の降伏強度(D19)	380 N/mm ²
せん断補強筋の降伏強度(D6)	310 N/mm ²
軸方向鉄筋比	圧縮側 2.65% 引張側 2.65%
せん断補強筋比	S0 : 0% S35 : 0.35% S70 : 0.70%
载荷速度	S : 4×10 ⁻⁴ m/s L : 4×10 ⁻² m/s M : 4×10 ⁻¹ m/s H : 2×10 ⁰ m/s

$$f_{td} = f_{ts} \exp \left[0.00126 \left(\log_{10} \frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_{st}} \right)^{3.373} \right] \quad (4)$$

鉄筋の動的降伏強度 f_{syd} ³⁾

$$f_{syd} = f_{sys} (1.202 + 0.040 \times \log_{10} \dot{\epsilon}) \geq f_{sys} \quad (5)$$

キーワード RC 梁, 動的せん断耐力, 修正圧縮場理論, 载荷速度効果, ひずみ速度

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 建設環境工学科 TEL: 046-841-3810 FAX: 046-844-5913

3. 動的修正圧縮場理論の妥当性の検討

動的載荷に拡張した修正圧縮場理論モデルの妥当性を検討するために RC 梁の急速載荷試験で得られた実験結果との比較を行う。表-1 に RC 梁の急速載荷実験の概要を示す。実験では、せん断補強筋が異なる 3 種類の RC 梁に対して 4 種類の載荷速度で載荷を行った。なお、動的修正圧縮場理論から評価される破壊モードの判定には中村らと同様の基準を適用し、せん断破壊と曲げ破壊に区別した。

図-3～5 に各せん断補強筋比毎に載荷速度の影響を考慮した動的修正圧縮場理論により求めたせん断スパン比と最大耐力の関係を示す。また、図中には実験結果を表示するとともに二羽らによって提案されたせん断耐力の評価式⁵⁾、動的効果を考慮した曲げ耐力の評価式も併せて示している。せん断補強筋比を配置していない場合の本解析結果は、低速度、低せん断スパン比の領域では二羽式にほぼ一致するのに対して、載荷速度、せん断スパン比が大きくなるにしたがい曲げ耐力式に一致する傾向を示している。また、せん断補強筋比 0.35, 0.70% の場合の本解析結果は概ね曲げ耐力式に一致することがわかる。本解析結果は、実験と比較すると低速度側で安全側の評価を与えるものの全体的には概ねよい評価をあたえていることがわかる。ただし、せん断補強筋比 0.35% に関しては、解析では曲げ破壊と評価されるのに対して、実験では曲げ降伏後にせん断破壊している。これは、せん断補強筋の設置間隔が 150mm と大きかったために実験では曲げ破壊に至る前にせん断破壊したと考えられる。

4 載荷速度が破壊モードに及ぼす影響

図-3 に示した本解析結果によれば、せん断補強筋がない RC 梁の場合、載荷速度が 4.0×10^{-4} (m/s) の時には解析はせん断スパン比 7 程度までせん断破壊するが、載荷速度が速くなるとせん断破壊領域は低せん断スパン比側に移行するのがわかる。すなわち、せん断スパン比によっては静的載荷でせん断破壊していたものが高速で載荷した場合に曲げ破壊することを表している。

5. まとめ

- 1) 静的載荷に対して提案された修正圧縮場理論をコンクリートの圧縮強度、引張強度、鉄筋の降伏強度に動的効果を考慮することにより動的載荷に拡張した。また、実験結果との比較により動的修正圧縮場理論の妥当性を示すことができた。
- 2) 本解析結果から、せん断スパン比によっては静的載荷でせん断破壊するものが載荷速度が速くなると曲げ破壊に変わって行く可能性があることがわかった。

参考文献

- 1) Amornthep S., Kazunori F. and Bing L. : Influence of Loading Rate on Shear Capacity of Reinforced

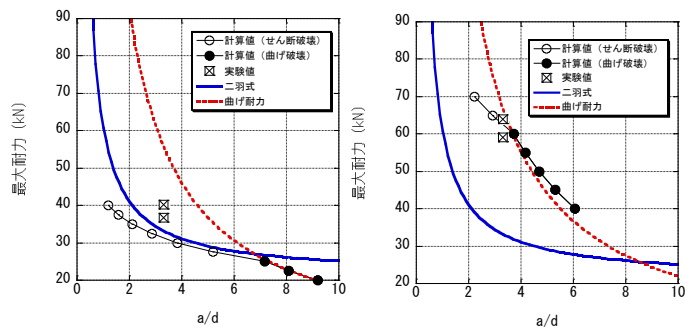
(a) 載荷速度 4×10^{-4} m/s(b) 載荷速度 2×10^0 m/s

図-3 せん断補強筋が無い梁 (S0)

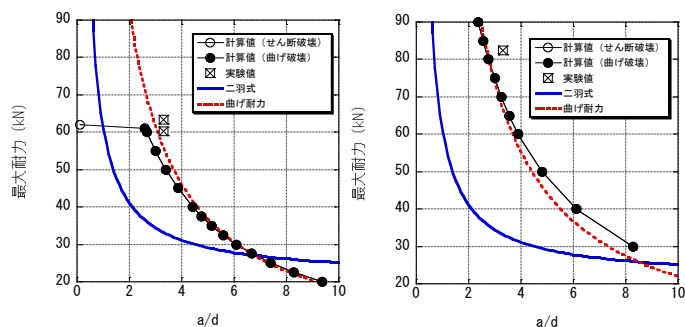
(a) 載荷速度 4×10^{-4} m/s(b) 載荷速度 2×10^0 m/s

図-4 せん断補強筋を有する梁 (S35)

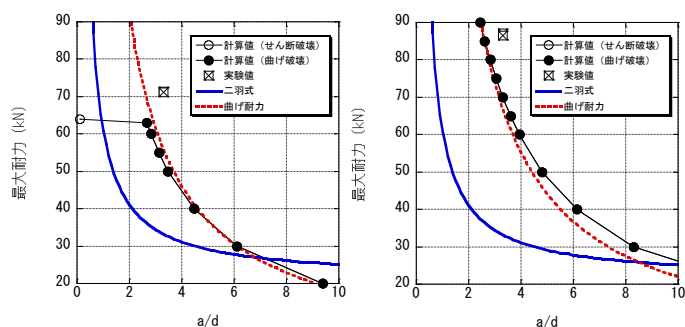
(a) 載荷速度 4×10^{-4} m/s(b) 載荷速度 2×10^0 m/s

図-5 せん断補強筋を有する梁 (S70)

Concrete Beams, International Journal of Protective Structure, Vol.4, No.4, pp.521-543, 2013.

- 2) 中村光, 檜貝勇 : 拡張した修正圧縮場理論による RC 梁断面のせん断耐力評価, 土木学会論文集, Vol.23, No.490, pp.157-166, 1994.
- 3) Kazunori F., Bing L. and Sam S. : Impact Response of Reinforced Concrete Beam and Its Analytical Evaluation, Journal of Structure Engineering, ASCE, pp.938-950, 2009.
- 4) Ross C. A., Thompson P. Y. and Tedesco J. W. : Split-Hopkinson Pressure-Bar Tests on Concrete and Mortar in Tension and Compression, ACI Materials Journal, 86(5), pp. 475-481, 1989.
- 5) 二羽淳一郎, 山田一字, 横沢和夫, 岡村浦 : せん断補強筋を用いない RC はりのせん断強度式の再評価, 土木学会論文集, Vol.5, No.372, pp.167-176, 1986.