

せん断スパン比に着目した PC 部材に対する破壊モードの解析的検討

名古屋工業大学
名古屋工業大学

学生会員
正会員

○篠谷 宗太郎
武田 健太

1. 研究背景，目的

コンクリート部材の構造性能を定量的に評価する手法の一つに，有限要素解析がある．構造物の形状が複雑な箇所には，一般的に解析精度が高いとされる六面体要素ではなく，四面体要素を用いる場合があるが，六面体要素に比べ解析精度が低いとされている．著者らは，有限要素解析により四面体要素を使用した場合の RC，PC 部材の構造性能評価の高精度化に関する研究を行っている^{1),2)}．RC 部材については，部材の構造性能，破壊モードを概ね精度良く評価可能となっているが，PC 部材では，曲げ破壊先行型部材やせん断スパン比（以下， a/d と称する）が小さな範囲の部材に，解析手法の適用範囲が限定されているため， a/d によらず高精度な構造性能評価を行うための解析手法の確立が課題である．コンクリート標準示方書[設計編]³⁾によれば，PC 部材におけるせん断圧縮破壊耐力の算定式は定量化されていないのが現状である．したがって，構造物の設計の観点から，斜め引張破壊とせん断圧縮破壊となる a/d の境界値を定めること，設計時におけるせん断圧縮破壊耐力の算定式を定めることが必須となる．

本研究では既往の研究で使用されたプレテンション式 PC 部材²⁾を対象に， a/d に着目し，破壊モードの境界値について解析的に確認した．

2. 解析方法および材料モデル

本研究には汎用有限要素解析プログラム ATENA 3D Ver.5.6.1 を用いた．コンクリートは四面体 2 次要素（10 節点）で分割した．応力ひずみ関係には，圧縮側は斉藤・Nakamura らのモデルを，引張側には Hordijk のモデルを用いた．一方，鋼材要素は埋め込み鉄筋要素でモデル化した．応力ひずみ関係にはひずみ硬化を考慮しないバイリニア型のモデルを用いた．

コンクリートのせん断剛性低減モデルには，ひび割れ前のせん断剛性に低減係数を乗じ，ひずみによ

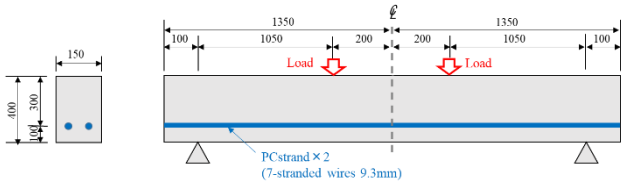


図-1 解析対象部材 ($a/d=3.5$)

表-1 解析対象部材の諸元一覧

Shear span to effective depth ratio (a/d)	Estimated fracture mode	Width (mm)	Height (mm)	Effective depth (mm)	Length of beam (mm)	Span (mm)	Shear span (mm)
3.1	Diagonal tensile	150	400	300	2460	2260	930
3.5	Diagonal tensile				2700	2500	1050
4.0	Diagonal tensile				3000	2800	1200
4.5	Bending				3300	3100	1350

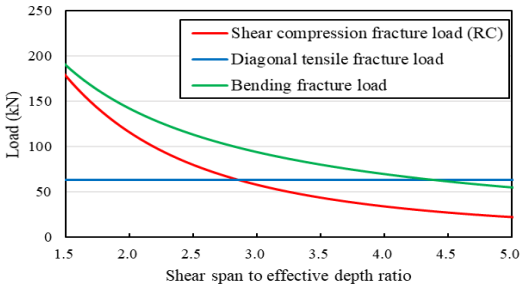


図-2 部材の破壊荷重－せん断スパン比関係

らずひび割れ後のせん断剛性が一定となるものを用いた．付着応力－すべり関係には，CEB-FIP Model code 1990 に記載されるモデルを用いた．

3. 解析対象部材および破壊モードの想定

図-1 に， $a/d=3.5$ の解析対象部材と載荷状況を示す．各部材の部材寸法は表-1 に示す．断面 $150 \times 400\text{mm}$ ，有効高さ 300mm は統一し， $a/d=4.5, 4.0, 3.5, 3.1$ の PC 梁を解析対象とし，2 点集中載荷を行った．コンクリートの圧縮強度は 40.0N/mm^2 ，静弾性係数は $31,000\text{N/mm}^2$ ，引張強度は 2.69N/mm^2 を，PC 鋼材の降伏強度は $1,463\text{N/mm}^2$ ，弾性係数は $200,000\text{N/mm}^2$ ，1 本あたりの断面積は 51.61mm^2 ，導入プレストレスは降伏強度の 60%に相当する 878N/mm^2 に設定した．

事前に部材の破壊モードを曲げ破壊荷重，斜め引張破壊荷重，せん断圧縮破壊荷重 (RC) の理論値³⁾から想定し，求めた破壊荷重と a/d の関係を図-2 に示

す。a/d=3.1, 3.5, 4.0 は斜め引張破壊, 4.5 は曲げ破壊を想定している。

4. 解析ケース

a/d=4.5, 4.0 ではせん断剛性低減係数(β)を 0.0001, 0.0003, 0.0005, 0.0007 の 4 ケースに設定し, a/d=3.5, 3.1 に関しては β を上記の 4 ケースに加え 0.001, 0.003, 0.005 の計 7 ケースに設定した。

5. 解析結果とその考察

荷重－中央変位関係を図-3, 最大主ひずみ・ひび割れ分布を図-4 に示す。両図ともに, a/d=4.0 の結果を示している。表-2 に各 a/d での, 破壊モードの想定と結果を示す。図-3, 図-4 より, a/d=4.0 では斜め引張破壊を想定していたものの, せん断剛性低減係数によらず, 曲げ破壊となった。これは, 部材軸方向に緊張力が導入される PC 部材では, 曲げひび割れ発生箇所が限定され, 等曲げ区間付近に集中することから, 曲げ破壊が生じやすい状況になったためと考えられる。

本解析では, 表-2 に示すように, a/d=4.0 以下で想定した破壊モードである斜め引張破壊が一切生じず, 曲げ破壊となった。紙面の都合上, a/d=3.1 の荷重－中央変位関係およびひび割れ図は割愛しているが, $\beta=0.0007$ 以上では同様な挙動をしているものの, $\beta=0.0005$ 以下では終局変位付近での挙動が $\beta=0.0007$ 以上とは異なることが明らかとなった。本解析モデルは矩形断面のため, コンクリートの作用せん断応力が小さくなり, せん断剛性を低減させても, 解析結果に及ぼす影響は小さくなったと考えられる。したがって, I 型断面や T 型断面のような有効断面積の小さいモデルを使用すれば, 作用せん断応力が大きくなり, せん断破壊を表現できる可能性がある。また, 本モデルでは PC 鋼材が降伏しており, 鋼材比が 0.2%程度と比較的小さい。鋼材比が大きな数%程度であれば, PC 鋼材が降伏せずにせん断破壊となる可能性がある。

6. まとめ

本研究では, 既往のプレテンション PC 部材を対象とした解析的研究で提案した解析手法を拡張し, せん断スパン比およびせん断剛性低減係数に着目した破壊モードの境界値について検討した。以下に得られた知見を示す。

(1) 本研究のモデルでは破壊モードの境界値は 3.0

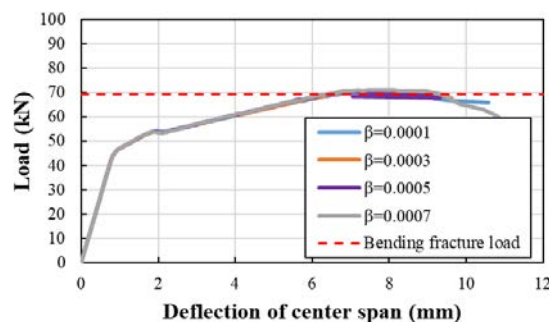


図-3 荷重－中央変位関係 (a/d=4.0)

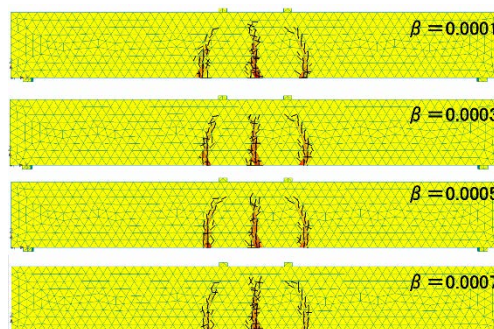


図-4 最大主ひずみ分布・ひび割れ図 (a/d=4.0)

表-2 部材の破壊モードの比較

Analysis case (a/d)	Fracture mode	
	Estimated	Analysis
3.0	Diagonal tensile fracture	Shear compression fracture
3.1	Diagonal tensile fracture	Bending fracture
3.5	Diagonal tensile fracture	Bending fracture
4.0	Diagonal tensile fracture	Bending fracture
4.5	Bending fracture	Bending fracture

と 3.1 間に存在し, 斜め引張破壊は生じず, せん断圧縮破壊と曲げ破壊のみが生じる。

- (2) せん断スパン比が小さな部材の場合, せん断剛性低減係数を小さくすることで, せん断破壊を表現できる可能性がある。
- (3) 部材の破壊モードを解析的に検討する際には, 有効断面積や PC 鋼材比の因子を考慮する必要があることが示唆された。

参考文献

- 1) 井戸ら: 付着すべりを考慮した PC 梁部材の解析評価精度に与える要素寸法および要素形状の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.43, No.2, pp.115-120, 2021.7
- 2) 福田ら: プレテンション式 PC 部材のせん断破壊における構造性能評価手法の検討, 令和 4 年度土木学会全国大会第 77 回年次学術講演会, V-593, 2022.9
- 3) 土木学会: 2017 年制定コンクリート標準示方書 [設計編], 2018.3