

プレテンション式 PC 部材のせん断破壊における構造的評価手法の検討

名古屋工業大学 学生会員 ○福田 脩登
名古屋工業大学 正会員 武田 健太

1. はじめに

コンクリート部材の構造的評価を定量的に評価する手法の一つに、三次元有限要素解析がある。構造物の形状が複雑な箇所には、精度が高いとされる六面体要素を使用できない。代わりに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評価精度が低い。また、RC 部材を対象として四面体要素使用時の評価精度を検討した研究は存在するが、PC 部材を対象とした研究は少数である。さらに、プレテンション式 PC 部材の場合、定着長の影響により、部材端部でプレストレスロスが生じるため、設計時に想定されるせん断破壊モードと異なる可能性がある。

本研究では、せん断破壊先行型のプレテンション式 PC 部材を対象とし、要素および材料モデルの解析条件の違いが部材の構造的評価に与える影響について検討し、コンクリート部材の構造的評価を高精度に行うための要素、材料モデルの選定方法の提案を目指す。

2. 対象とするせん断破壊先行型部材

Fig.1 に示す PC 梁(せん断スパン比 $a/d=2.0, 2.5, 3.0$)を解析対象とし、等曲げ区間が 400mm の 2 点集中荷重を行う。 $a/d=2.0, 2.5$ ではせん断圧縮破壊、 $a/d=3.0$ では斜め引張破壊を想定している。梁には、PC 鋼材として 7 本より 9.3mm の PC 鋼より線を 2 本配置した。

3. 解析方法

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 3 次元ソリッド要素を用いて分割した。コンクリートの一軸の応力-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、PC 鋼材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。コンクリートの圧縮強度は 40.0N/mm^2 、静弾性係数は 31kN/mm^2 、引張強度は 2.69N/mm^2 、PC 鋼材の降伏強度は $1,463\text{N/mm}^2$ 、弾性係数は 200kN/mm^2 と仮定した。PC 鋼材のプレストレス量は、定着長が 65ϕ となるように降伏強度の 60% とした。

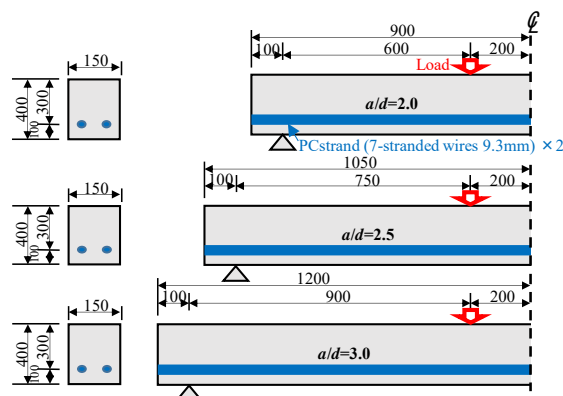


Fig.1 Specification of the beams in analysis

4. 要素と付着の影響に関する検討

まず、要素およびコンクリートと PC 鋼材の間の付着応力-すべり関係の有無が解析結果に与える影響を検討する。なお、せん断剛性低減モデルには、ひび割れ後のせん断剛性はひび割れ前のコンクリートのせん断剛性に低減係数 β を乗じ、ひび割れ直交方向のひずみによらず一定となるモデルを用い、低減係数 β は RC 部材を対象とした既往の研究¹⁾を参考に 0.005 とした。

4.1 解析ケース

本章では、以下に示すような解析ケースを設定した。

- (a) Bs B1 : すべり考慮(Bs), 六面体 1 次要素(B1)
- (b) Bs T2 : すべり考慮(Bs), 四面体 2 次要素(T2)

「すべり考慮」には付着応力-すべり関係を導入した。(a), (b)では、要素数は同程度とした。

4.2 解析結果

荷重-中央変位関係を Fig.2 に、最大主ひずみ・ひび割れ分布の一例を Fig.3 に示す。Fig.2 には、コンクリートと PC 鋼材を完全付着とした場合の結果(Pc)も示しており、図中の P_b, P_u, P_c はそれぞれ曲げ破壊荷重、せん断圧縮破壊荷重、斜め引張破壊荷重の理論値である。Fig.2, Fig.3 より、 $a/d=2.0, 2.5$ では、要素形状によらずせん断圧縮破壊が生じた。一方 $a/d=3.0$ は、(a)では曲げ破壊、(b)ではせん断圧縮破壊が生じ、想定される斜め引張破壊とは異なる結果になった。PC 部材の場合、軸圧縮力が導入され、

キーワード プレテンション式 PC 部材, せん断破壊, 有限要素解析, 定着長, 付着応力-すべり関係
連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学 TEL052-735-7513

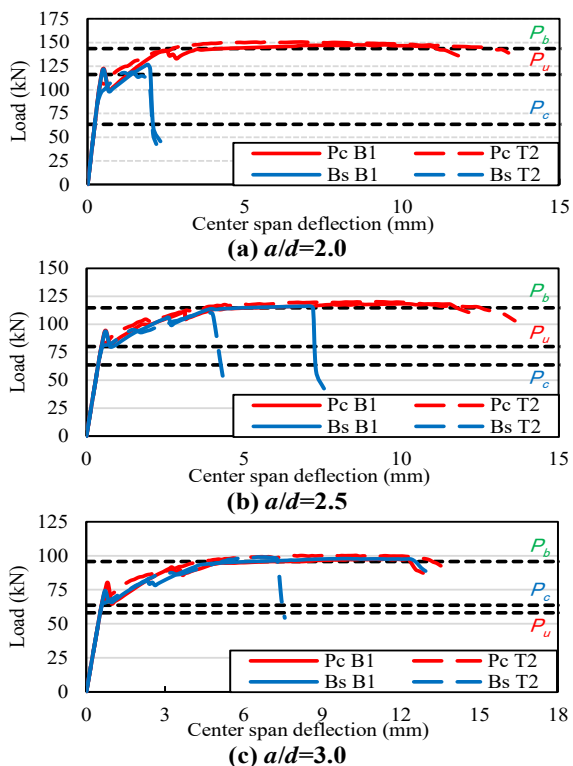


Fig.2 Load – center span deflection relationship

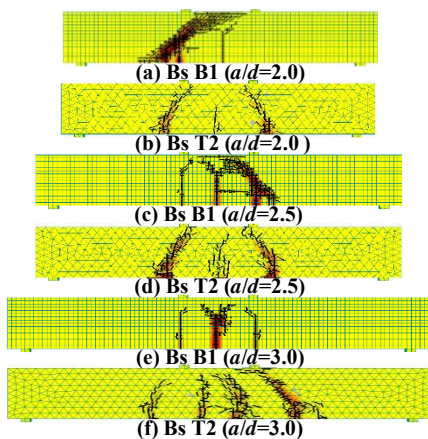


Fig.3 Crack patterns and distribution of maximum principal strain

Table 1 Fracture mode

a/d	Analysis Case	Fracture mode			
		$\beta=0.001$	$\beta=0.003$	$\beta=0.005$	$\beta=0.007$
2.0	T2	Shear compression fracture	Shear compression fracture	Shear compression fracture	Shear compression fracture
2.5		Shear compression fracture	Shear compression fracture	Shear compression fracture	Shear compression fracture
3.0		Shear compression fracture	Shear compression fracture	Shear compression fracture	Bending fracture

曲げひび割れの発生箇所が限定され、支間中央付近に集中する。一般的には、RC部材の場合、部材長の増大に伴い曲げひび割れは分散する傾向となるが、PC部

材においては a/d が増大しても、前述のようなせん断圧縮破壊が起こり得ると考えられる。したがって、四面体2次要素を用い、付着応力-すべり関係を導入したモデルが、せん断破壊モードを最も適切に評価できるといえる。しかし、せん断破壊モードに違いが見られるため、低減係数 β をパラメータとした検討を行い、解析結果に与える影響について検討する。

5. せん断剛性低減係数 β の影響に関する検討

本章では、低減係数 β をパラメータとし、解析結果に与える影響を検討する。なお、前章で概ね適切に破壊モードを表現した T2 (四面体2次要素) で検討を行う。低減係数 β は、0.001, 0.003, 0.005, 0.007 とした。

解析で得られた破壊モードの一覧を Table 1 に示す。PC梁の構造解析で低減係数 β が 0.001~0.005 の場合は想定通りもしくは想定に近い破壊モードを生じた。したがって、本研究の範囲内では、PC梁を対象にせん断破壊の構造性能評価を行う際にも、既往の研究で提案された $\beta=0.005$ を採用することが得策と考えられる。ただし、 a/d の増大に伴い、曲げ変形も増大するため、せん断破壊が生じる範囲でも、破壊モードが曲げ破壊となる可能性がある。その際は低減係数 β を小さくする必要があると考えられる。

6. まとめ

本研究では、要素および材料モデルが PC 部材のせん断破壊に対する構造性能評価に与える影響について検討した。PC 部材の構造性能評価を高精度に行うための解析手法を以下のように提案する。

- (1) 四面体2次要素を使用
- (2) 要素数は六面体を使用する際と同程度
- (3) コンクリートと PC 鋼材の間に付着応力-すべり関係を導入
- (4) せん断剛性低減モデルとして、ひび割れ発生後のせん断剛性が低減後に一定となるものを用い、せん断剛性低減係数 β を 0.005 とする。

ただし、上記の解析手法は、せん断スパン比 2~3 程度のプレテンション PC 部材に適用範囲が限定される。ポストテンション部材や部材長が大きくなる場合には、別途検討が必要である。

参考文献

- 1) 山谷ら：回転ひび割れモデルによる RC 梁のせん断挙動解析，土木学会論文集，No.620，V-43，pp.187-199，1999