

超軽量コンクリートを用いた PRC はりの非線形 FEM 解析

日大理工 (学部) ○藤咲 典善
日大・理工 斉藤 準平
日大・理工 柳沼 善明

1. はじめに

コンクリート構造物の軽量化は、ビルの高層化や橋梁の長大スパン化、さらに軟弱地盤への施工などから、年々その要求が高まってきた。コンクリートを軽量化する方法として、人工軽量骨材を用いた軽量コンクリートの利用がある。一般に、圧縮強度がほぼ同等であるコンクリートの場合、軽量コンクリートの引張強度や曲げ強度は、普通コンクリートと比較して小さい。そのため、軽量コンクリートを用いた構造部材はせん断耐力が劣り、脆性的な破壊を示す。そこで、本研究では、引張強度の低下を補うためにプレストレスを利用し、密度 1.2t/m^3 程度である超軽量コンクリートを用いた PRC はりのせん断耐力に与えるプレストレスの効果について検討するものである。

一方、プレストレストコンクリート（以下 PC）部材に有限要素法（以下 FEM）による解析が多く実施されている。PC 部材を破壊まで解析しようとした場合には、部材にひび

割れが生じるために、弾性 FEM では解析できず、材料の非線形を考慮した非線形 FEM で解析する必要がある。非線形 FEM 解析は、主に密度が約 2.3t/m^3 の普通コンクリートを用いた部材に対して行われている。そのため、密度が約 1.2t/m^3 の超軽量コンクリートを用いた場合には、材料の力学的特性を適切にモデル化し、FEM 解析の設定値を適切に定めなければならない。そこで、本研究は、超軽量コンクリートの力学的特性を与えるであろうパラメータについて、その設定値を変化させた数値解析を行い、解析結果に及ぼす影響についても検討する。

2. 実験概要

実験に用いた供試体は外ケーブル方式の T 形 PRC はり（図-1、表-1 参照）で、フランジ幅 30cm、ウェブ幅 10cm、はり高さ 20cm、フランジ厚 5cm、長さ 180cm、スパン 140cm、せん断スパン 50cm であった。使用鉄筋として上縁側に $\phi 6$ を 2 本、下縁側に D 29 を 1 本

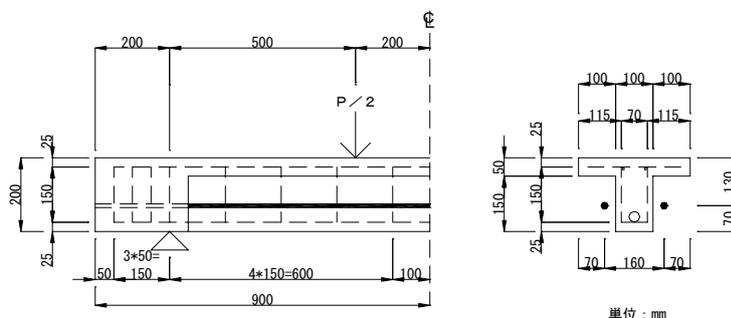


図-1 供試体

使用し、材質はそれぞれSR 295 とSD 345 であった。PC鋼材（SBPR 1080 / 1230）にはφ9.2を2本使用した。スターラップにはφ6を用い、間隔を15cmとした。コンクリートの設計基準強度は35N/mm²であった。なお、タイプTNの実験結果は文献1)によった。

表-1 供試体の種類

タイプ	供試体名	導入プレストレス力 (kN)	コンクリートの密度 (t/m ³)
TS	TS15-0	—	1.2
	TS15-50	50	
	TS15-100	100	

3. 実験結果

コンクリートの力学的特性を表-2 に示す。表-2 によれば、脆度係数 (fc'/ft) はタイプ TS では23.4、タイプ TN では16.1 となり、超軽量コンクリートのタイプ TS は著しく脆性であることが分かる。

表-2 コンクリートの材料特性

タイプ	圧縮強度 fc' (N/mm ²)	引張強度 ft (N/mm ²)	ヤング係数 Ec (kN/mm ²)
TS	35.97	1.54	12.16
TN	41.12	2.55	30.50

斜めひび割れ発生せん断力とプレストレス導入力の関係を図-2 に示す。図-2 によれば普通コンクリートのタイプ TN と比較して超軽量コンクリートのタイプ TS の斜めひび割れ発生荷重が約47.3%~62.6%減少している。

次に、せん断耐力と導入プレストレス力の関係を図-3 に示す。図-3 によれば、タイプ TN と比較して、タイプ TS のせん断耐力は約23.6%~43.0%減少している。導入プレストレス力0 と100kN を比較すると、せん断耐力はタイプ TN で約60%、タイプ TS で約37%増加し、導入プレストレス力の効果が顕著に表れている。

変形性状に及ぼす導入プレストレス力の影

響を図-4 に示す。図-4 より、導入プレストレス力が大きくなるとたわみにくいことが分かる。図中のたわみのマイナスは、プレストレス導入時にはりが上方向にたわんだことを意味する。

次に変形性状に及ぼすコンクリート密度の影響を図-5 に示す。図-5 より、超軽量コンクリートのタイプ TS のほうがたわみやすく、最大荷重が小さいことが分かる。これは、主にヤング係数ならびに引張強度が小さいことに起因している (表-2 参照)。

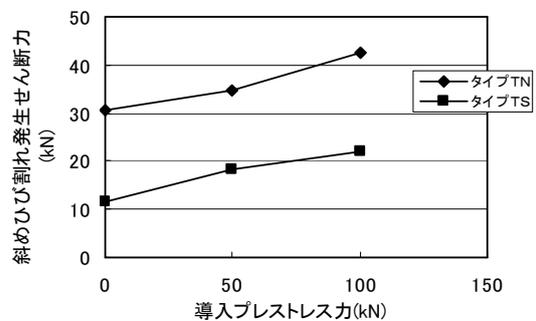


図-2 斜めひび割れ発生せん断力に及ぼす導入プレストレスの影響

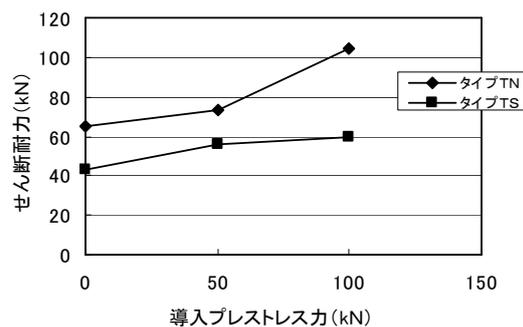


図-3 せん断耐力に及ぼす導入プレストレス力の影響

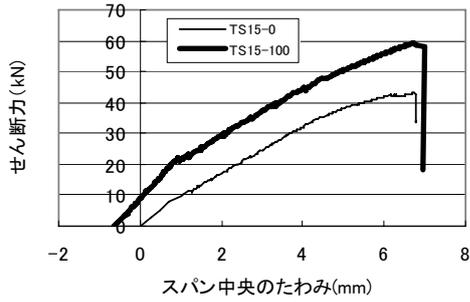


図-4 変形性状に及ぼす導入プレストレス力の影響

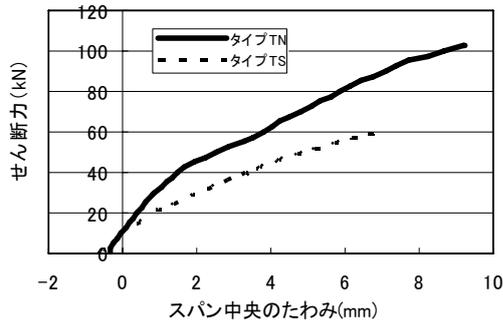


図-5 変形性状に及ぼすコンクリート密度の影響 (導入プレストレス力 100 k Nの場合)

4. FEM 解析概要

2次元非線形有限要素法プログラム「ATENA」Ver3.2を用いて解析を行った。要素寸法は25mmとし、ひび割れモデルは固定ひび割れモデルとした。普通コンクリートの力学的特性と相違すると考えられる超軽量コンクリートの力学的特性のパラメータを、 f_c' 、 E_c 、 w_d 、 G_f として、それぞれを変化させた解析を行った(表-3参照)。ここに、 f_c' はコンクリートの圧縮強度(36N/mm²)、 E_c はコンクリートのヤング係数(12kN/mm²)、 w_d は圧縮を受けるコンクリートの塑性長さ(5.0×10⁻⁴m)、 G_f は引張を受けるコンクリートの破壊エネルギー(8.14×10⁻⁵MN/m)である。なお、カッコで示した数値は、普通コンクリートの場合の設定値である。

表-3 数値解析の種類

ケース	No.	f_c'	E_c	w_d	G_f
A5	A5-gf1.0	1 f_c'	1 E_c	1 w_d	1 G_f
	A5-gf0.25				0.25 G_f
A1	A1-gf1.0	1 f_c'	1 E_c	0.2 w_d	1 G_f
	A1-gf0.25				0.25 G_f
B5	B5-gf1.0	0.85 f_c'	0.85 E_c	1 w_d	1 G_f
	B5-gf0.25				0.25 G_f
B1	B1-gf1.0	0.85 f_c'	0.85 E_c	0.2 w_d	1 G_f
	B1-gf0.25				0.25 G_f

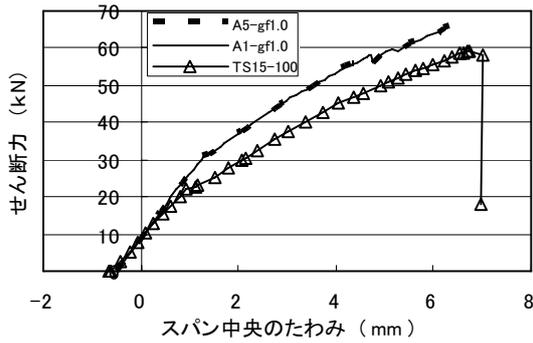
5. FEM 解析結果

表-4にせん断耐力の解析結果を示す。せん断耐力の実験値は59.2kNであった。表-4より、 G_f の変化が解析値に及ぼす影響は、いずれのケースにおいても G_f を小さく設定した場合において、せん断耐力が小さく解析されている。次に、 w_d の変化が解析値に及ぼす影響は、 G_f が同値であるケースA5とA1では、いずれにおいても、せん断耐力はケースB1を除きほぼ同値に解析されている。さらに、 f_c' の変化が解析値に及ぼす影響は、 G_f が0.25 G_f の場合では、いずれのケースにおいても、せん断耐力はほぼ同値に解析されている。しかし、 G_f が1 G_f の場合では、A5とB5、A1とB1をそれぞれ比較し、 f_c' が小さくなるとせん断耐力が小さく解析されている。せん断耐力の実験値に最も近い解析値は、ケースB1の G_f を1 G_f と設定した場合である。

図-6に変形性状に及ぼす w_d の影響を示す。図-6より w_d の変化が解析結果に及ぼす影響は、いずれのケースにおいてもほぼ同様に解析され、変形性状は実験結果よりもかために解析されている。

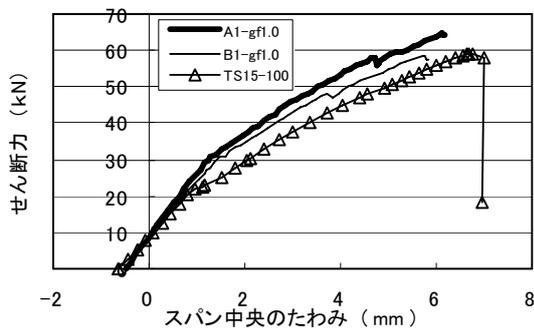
表-4 せん断耐力の実験値と解析値の比較

ケース	No.	calc/test
A5	A5-gf1.0	1.123
	A5-gf0.25	0.829
A1	A1-gf1.0	1.090
	A1-gf0.25	0.829
B5	B5-gf1.0	1.010
	B5-gf0.25	0.824
B1	B1-gf1.0	0.991
	B1-gf0.25	0.917

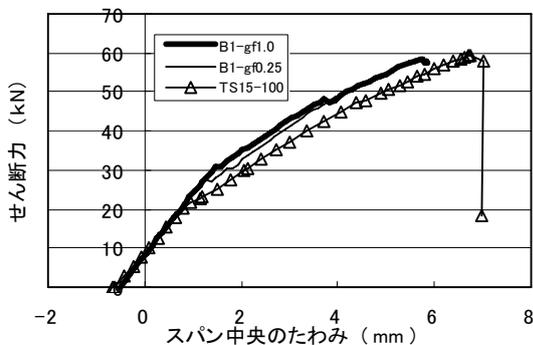


図－6 変形性状に及ぼす w_d の影響
($1f_c'$ と $1G_f$ の場合)

図－7に変形性状に及ぼす f_c' の影響を示す。図－7より、ケースA1、B1の場合、変形性状はケースA1と比較し、ケースB1の方が実験結果に近い解析結果となり、最大せん断力の値が小さく、たわみも小さく解析されている。



図－7 変形性状に及ぼす f_c' の影響
($1w_d$ と $1G_f$ の場合)



図－8 変形性状に及ぼす G_f の影響
($0.85f_c'$ と $1w_d$ の場合)

図－8に変形性状に及ぼす G_f の影響を示す。図－8より、 G_f にかかわらず変形性状は同様な解析結果となるが、 $0.25G_f$ の方が最大せん断力の値が小さく、たわみも小さく解析される。 $1G_f$ よりも $0.25G_f$ の変形性状が実験結果により近く解析されている。

6. まとめ

- ① コンクリートの力学的特性はタイプTNと比較してタイプTSの脆度係数が大きく、著しく脆性的である。
- ② 導入プレストレス力が大きくなると、タイプTS、TNの斜めひび割れ発生せん断力とせん断耐力はともに増加する。
- ③ タイプTSの斜めひび割れ発生せん断力とせん断耐力はともに、タイプTNよりも著しく低下する。
- ④ 導入プレストレス力が大きくなるとタイプTS、TNともにたわみにくくなる。
- ⑤ w_d の変化が解析値に及ぼす影響は、 f_c' 、 E_c 、 G_f が同値の場合では、せん断耐力はほぼ同値に解析されている。
- ⑥ f_c' の変化が解析値に及ぼす影響は、 G_f が $0.25G_f$ の場合では、せん断耐力はほぼ同値に解析され、 G_f が $1G_f$ の場合では、 f_c' が小さくなるとせん断耐力が小さく解析されている。
- ⑦ G_f の変化が解析値に及ぼす影響は、 G_f を小さく設定した場合では、せん断耐力が小さく解析されている。

最後に、本実験を行うにあたり井口淳、富田洋治郎両君の協力を感謝するとともに、日本大学理工学部社会交通工学科構造工学第二研究室の関係者に感謝する。

参考文献

- 1) 井口 淳、柳沼 善明：外ケーブル方式T形PRCはりのせん断挙動、第14回プレストレスコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、pp.151-154