

せん断スパン比を変えた PC 梁の耐衝撃性に関する解析的検討

防衛大学校
防衛大学校学生会員 塩野谷 昇
正会員 山本 佳士, 黒田 一郎, 古屋 信明

1. はじめに

RC 製・PC 製梁部材は、脆性破壊を防止して十分に變形させた後に破壊させるべく、曲げ破壊がせん断破壊に先行するよう設計されている。しかし、曲げ破壊がせん断破壊に先行するように設計された PC 梁でも、衝撃荷重の載荷位置が支承近傍であった場合(スパン中央であった場合よりも耐え得る衝撃荷重は大きい)、破壊モードが曲げからせん断に移行して脆性的であった事例も報告されており、衝撃荷重を受ける PC 梁のせん断破壊挙動については未解明の部分が多い。一方、衝撃荷重を受ける PC 梁のせん断破壊においても、せん断スパン比やプレストレス量が重要な影響因子であると考えられるが、これらの点を検討した研究は未だなされていない状況にある。

本研究は、PC 梁供試体を対象に、せん断スパン比およびプレストレスの有無、重錘落下高さをパラメータとして重錘落下衝撃実験(重錘質量は一定)を行い、PC 梁の破壊性状ならびに衝撃荷重作用後の残存耐荷能力を、FEM 解析により検討した。

2. 実験概要

本実験においては、スターラップが無い供試体を中心に、せん断スパン比およびプレストレス導入の有無(有りは P, 無しは NP)をパラメータとした供試体を使用した。せん断スパン比(a/d , 以下 SR と記述)は、1.5(図-1)、3.0(図-2)の2種類とした。図-3に断面寸法を、表-1に材料諸元をそれぞれ示す。ただし、NP 供試体でも PC 鋼線は配置されている。

はじめに、衝撃を受けていない新品 PC 梁の静的耐荷性状を把握するために、静的載荷実験を行った。次に、衝撃実験を行い、その後、損傷を受けた PC 梁供試体に残存する耐荷能力を把握するために、静的載荷実験を行った。

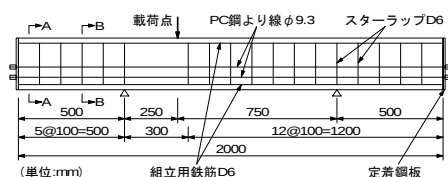


図-1 供試体形状寸法 (SR=1.5)

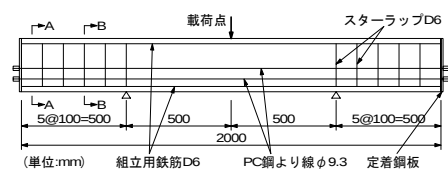


図-2 供試体形状寸法 (SR=3.0)

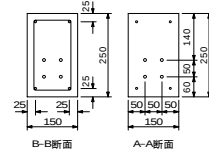


図-3 供試体断面寸法

表-1 材料諸元

材料名	項目	数値
コンクリート	水セメント比(%)	36
	セメント(kg/m ³)	389
	水(kg/m ³)	140
	細骨材(kg/m ³)	711
	粗骨材(kg/m ³)	1205
PC鋼より線 (SWPR7AN)	載荷実験時の圧縮強度(N/mm ²)	73.4
	0.2%永久伸び強度(N/mm ²)	1328
	直径(mm)	9.3
	スターラップ組立用鉄筋 D6 鉄筋(SD295A) 降伏強度(N/mm ²)	355

3. 実験結果

結果の一例として、図-4 に衝撃載荷後の静的載荷実験によって得られた、残存せん断耐力と重錘落下高さの関係を示す。P 供試体(図中の◇)の残存せん断耐力は、落下高さ 0m 時の値(即ち、新品梁の静的せん断耐力)にほぼ近い値を落下高さ 1m まで維持しているが、落下高さ 1.1m では著しく低下している。図-4から分かるように P 供試体の場合、せん断耐力は静的実験では SR1.5 の方が大きいのにに対し、限界落下高さは SR3.0 の方が大きいという逆転が見られた。

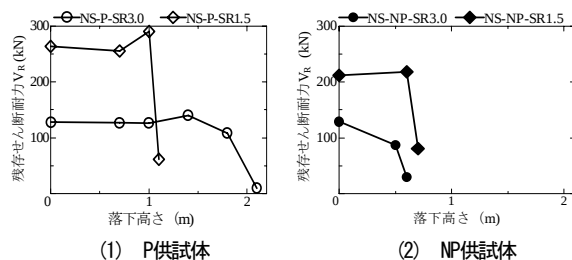


図-4 残存せん断耐力と重錘落下高さ

4. 解析概要

実験結果を考察するため、汎用 FEM コード DIANA による数値解析を試みた。解析のための要素分割は図-5に示すとおりで、合計 220 要素である。個々の要素寸法は約 50mm の正方形で、PC 鋼線および鉄筋は埋込み鉄筋要素でモデル化し、コンクリート要素は 8 節点四辺形アイソパラメトリック平面応力要素でモデル化している。載荷板と梁の間には、界面要素を挿入して、水平方向のすべりを許容した。

衝撃解析では、このモデルに重錘要素を追加し、重錘と載荷板の間にも界面要素を挿入したが、ここには Hertz の接触理論に基づく非線形ばねを設定した。減衰定数は、質量比例型の粘性減衰 h のみを考慮することとし、 $h=0.001\%$ を用いた。

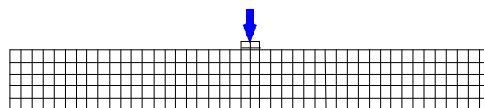


図-5 要素分割図(静的載荷, SR=3.0の場合)

キーワード PC 梁 衝撃 せん断スパン比 FEM 解析

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

DIANAの制約から、コンクリートおよび鋼材のひずみ速度効果は無視している。コンクリートの構成則は、圧縮応力下に対しては前川ら¹⁾が提案した弾塑性破壊モデルを使用した。引張応力下の構成則は、引張強度に達した後ヤング率 E_c を保ち、その後曲線で軟化するテンションステイニング・モデル²⁾を用いた。ひび割れモデルは、固定直交ひび割れモデルを用いた。PC鋼線は降伏強度 f_y の90%までは弾性挙動をとり、それ以降は応力が漸増し、降伏強度 f_y に達した後は f_y を保つトリニアモデルとした。載荷板とコンクリートの界面要素は、ばね状のモデルとし、法線方向にのみ抵抗するとした。圧縮側では弾性体とし、引張側およびせん断方向には抵抗しないものとした。

載荷板および重錘は、 $E_s=210\text{kN/mm}^2$ の弾性体とした。

静的解析は変位制御で行い、求解法として割線法を用い、繰返し計算におけるひずみエネルギーの変化量がそのステップの1回目の計算時のものと比べ 1.0×10^{-3} 以下となったところで収束と判定した。衝撃解析は、重錘に落下高さ H から $v = \sqrt{2gH}$ で決まる初速度を与えて行った。求解法は、静的解析と同様である。

5. 解析結果

図-6 に静的載荷実験および解析によって得られた荷重-変位関係を、図-7 に衝撃載荷実験および解析によって得られた衝撃力-時間関係、変位-時間関係の一例を示す。これらの図で、白抜きのプロットが実験値であり、色つきの実線が解析値である。解析は、実験結果を概ね捉えていることが分かる。

表-2 は、静的解析において荷重がピーク値の80%値まで低下する区間のエネルギー吸収量（荷重-変位曲線で囲む面積）を、実験結果と解析結果で比較したものである。全体の傾向としては、解析値は実験値より小さくなっているが、実験と同様にせん断スパン比が大きい方が、せん断スパン比が小さいシリーズに比べエネルギー吸収が大きくなっている。実験値に比べ解析値が小さくなったのは、実験で見られた荷重がピーク値を過ぎてから徐々に低下する現象が再現されず、荷重が急激に低下

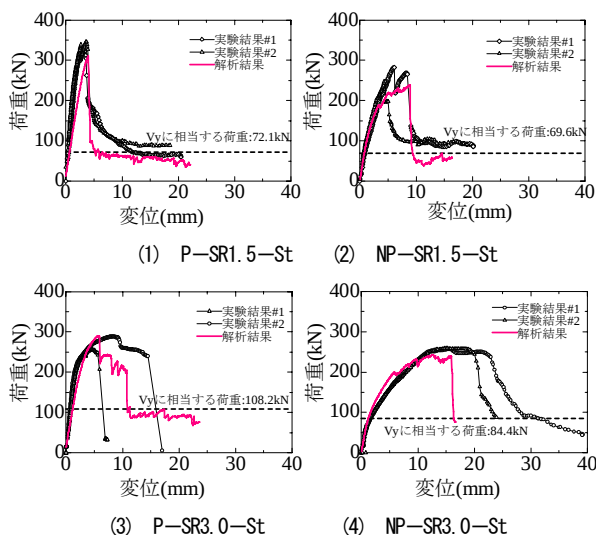


図-6 静的載荷における荷重-変位関係(実験と解析)

表-2 静的解析における吸収エネルギー

供試体名	実験値 (kN・m)		解析値 (kN・m)
	#1	#2	
P-SR1.5	0.88	1.12	0.80
NP-SR1.5	1.05	0.83	1.05
P-SR3.0	1.41	3.56	1.91
NP-SR3.0	4.90	4.21	3.06

供試体名は頭から、プレストレス導入の有(P)無(NP)-せん断スパン比(SR)を示す。

しているからである。

図-8 に、最大衝撃力(解析値)と重錘落下高さの関係はプレストレス有り、無しについてそれぞれ示す。最大衝撃力をせん断スパン比で比較すると、同じ落下高さでもプレストレスの有無に関わらず、せん断スパン比が小さい方が衝撃力は大きくなっている。これは、図-6 から分かるように、ひび割れ発生荷重までの初期剛性が、SRが小さい方が大きくなっているためと考えられる。プレストレスの有無で比較すると、Pシリーズの方がNPシリーズに比べ、同じ落下高さでも最大衝撃力が大きくなっている。

6. 結論

- (1) 材料構成則、各種パラメータ(界面要素の非線形ばね、減衰定数等)を適切に設定することにより、PC 梁の静的載荷実験における荷重-変位関係、衝撃実験における衝撃荷重・変位等を比較的精度良く再現することができた。
- (2) 重錘を同じ落下高さから落下させた時の最大衝撃力は、SRが小さい方が、SRが大きいものより大きい。
- (3) SR が大きい梁の限界落下高さが高いのは、SR が小さい梁に比べエネルギー吸収量が多いからである。

参考文献

- 1) Triaxial Elasto-plastic and Fracture Model for Concrete, K. Maekawa, J. Takemura, P. Irawan, M. Irie, :Proc. of JSCE No. 460/V-18, pp.131-138, February 1993.
- 2) 岡村甫・前川宏一:鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則 技報堂出版, 1991

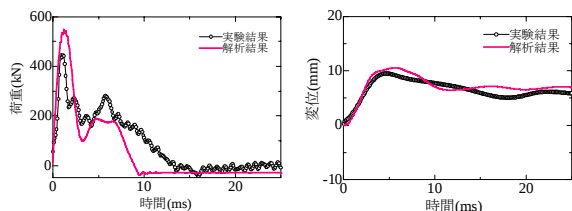


図-7 衝撃載荷における衝撃力と変位(P-SR3.0 落下高さ H1. 4m)

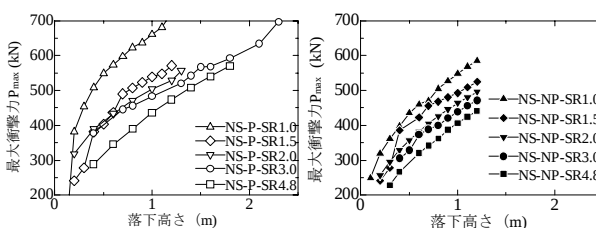


図-8 最大衝撃力(解析値)と落下高さ