

北海道大学工学部 学生員 志村 和紀
北海道大学工学部 正 員 佐伯 昇
北海道大学工学部 正 員 藤田 嘉夫

1. まえがき

鉄筋コンクリート不静定構造物の構造解析の手法としては、線形解析、塑性理論に基づくモーメント再分配法および材料の非線形性を厳密に取り入れる方法（以下非線形解析と略称する）などがあるが、「コンクリート構造の限界状態設計法指針（案）」によれば、断面破壊の終局限界状態を検討するための断面力の算定には、豊富な実績を持ち信頼性が確立されている線形解析を用いてよいとされている。しかし、鉄筋コンクリートは非線形性を有する材料から成っており、非線形性を考慮した手法による方が合理的な設計を行うことができると考えられる。本報告は2径間連続桁を対象として載荷実験を行い、線形解析、モーメント再分配法ならびに非線形解析の結果と比較し各解析手法の問題点を明らかにすることを目的とした。

2. 使用材料および実験方法

実験に使用したコンクリートは早強ポルトランドセメントを用いたAEコンクリートであり、試験材令は14日、目標圧縮強度を300%とした。鉄筋の材質はSD35とし、D10およびD13異形棒鋼を用いた。

試験桁の断面は図-1(a)および表-1に示した。載荷方法としては図-1(b)に示したように支間 $\ell=160\text{cm}$ とし、 $a=80\text{cm}$ あるいは 100cm として2点載荷を行った。また、塑性回転角を算出するために載荷点のたわみを変位計によって測定し、曲げモーメントおよびせん断力を算定するためにA,B点にロードセルを配置し、反力を測定した。

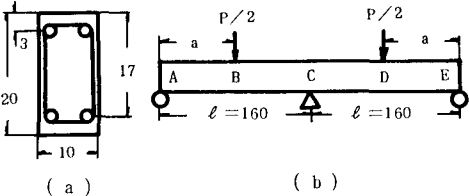


表-1 試験桁の断面・載荷位置

試験桁	a cm	断面	p %	p' %
A1	80	B,D	0.84	0.84
		C	0.84	0.84
A2		B,D	1.49	1.49
		C	1.49	1.49
A3		B,D	1.49	1.49
		C	0.84	0.84
A4		B,D	1.49	0.84
		C	0.84	1.49
B1	100	B,D	0.84	0.84
		C	0.84	0.84
B2		B,D	1.49	1.49
		C	1.49	1.49
B3		B,D	1.49	1.49
		C	0.84	0.84
B4		B,D	1.49	0.84
		C	0.84	1.49

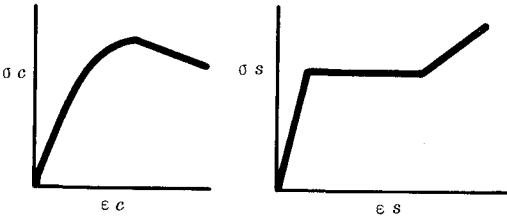
3. 解析方法

線形解析における終局

モーメントの算定および非線形解析に用いたコンクリートならびに鉄筋の応力-ひずみ関係は図-2に示したように、コンクリートはパラボラと下降直線の混合形、鉄筋はtri-linear形とした。

モーメント再分配法では図-1および図-2に示した配筋および載荷位置より、いずれも中央支点上に引張鉄筋の降伏による塑性ヒンジ（steel-hinge）が生ずると仮定した。また、塑性ヒンジの回転角を算出する際には平均曲げ剛性として状態IIのものを用いた。

非線形解析は田辺らの手法¹⁾に準じて行った。すなわち、図-2に示したコンクリートおよび鉄筋の応力-ひずみ関係より曲げモーメント-曲率関係を計算し、要素分割した構造に適用して断面力を計算した。なお、要素の分割数は支間あたり32とし、コンクリートの終局圧縮ひずみを0.35%および1.0%と相異させた場合について計算を行った。



(a) コンクリート

(b) 鉄筋

図-2 コンクリートおよび鉄筋の
応力-ひずみ関係

4. 実験結果および考察

(1) 塑性回転角

モーメント再分配法による機構成立時の塑性ヒンジ回転角 $\theta_{p\text{ cal.}}$ 、等しい荷重における実験値 $\theta_{p\text{ act.}}$ および終局塑性回転角 $\theta_{pu\text{ act.}}$ を表-2に示した。これによれば、塑性回転角の計算値と実験値の比 $\theta_{p\text{ cal.}}/\theta_{p\text{ act.}}$ は0.54~2.36の範囲にあり、モーメント再分配法では状態IIの曲げ剛性を用いることにより実際の値にほぼ近い回転角が得られることが示された。また、 $\theta_{p\text{ cal.}}/\theta_{pu\text{ act.}}$ は0.016~0.218の範囲にあり、計算上の回転角に比べ塑性回転能にはまだ余裕のあることが示された。

表-2 モーメント再分配法と実験による塑性回転

試験桁	計算値	実験値	
	$\theta_{p\text{ cal.}}$	$\theta_{p\text{ act.}}$	$\theta_{pu\text{ act.}}$
A1	0.0013	0.0018	0.082
A2	0.0015	0.0028	0.077
A3	0.0070	0.0051	0.043
A4	0.0074	0.0047	0.034
B1	0.0035	0.0015	0.103
B2	0.0037	0.0020	0.050
B3	0.0095	0.0040	0.089
B4	0.0074	0.0097	0.050

(2) 曲げモーメントの挙動

実験より得られた中央支点上の曲げモーメント M_C と荷重 P の関係の一例を線形解析、モーメント再分配法および非線形解析による計算結果とともに図-3に示した。これによれば、線形解析ではモーメントの挙動を把握することは難しいことが認められた。モーメント再分配法については载荷の初期には実験値から離れるものの、ヒンジ断面の降伏後は実験値に近づき終局値はほぼ一致することが示された。非線形解析は比較的良くモーメントの挙動を表していると考えられる。一方、終局荷重については計算値の実験値に対する比は線形解析、モーメント再分配法でそれぞれ0.39~0.65, 0.66~0.77と相当に小さな値を示した。非線形解析では $\epsilon_{cu}=0.35\%$ とした場合の終局荷重はモーメント再分配法と同程度であったが、 $\epsilon_{cu}=1.0\%$ とした場合には実験値に対する比は0.73~0.92と高まり、コンクリートの終局圧縮ひずみが耐力に影響を与えることが示された。

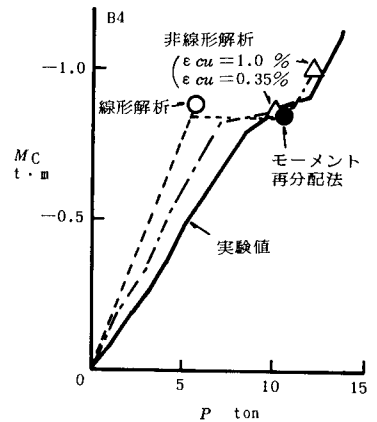


図-3 曲げモーメントと荷重の関係

(3) セン断力の挙動

2径間連続桁の端支点より載荷点までのせん断力 $S_{A,B}$ と荷重 P の関係について実験値および計算値を図-4に示した。これによれば、モーメント再分配法および非線形解析は初期の荷重段階では実験値から離れるものの、終局時はほぼ一致することが認められた。線形解析については、終局荷重時のせん断力は、等しい荷重における実験値を下回っており、計算値の実験値に対する比は、0.71~0.99の範囲にあった。このように、線形解析によって設計を行った場合には終局荷重時に計算値を上回るせん断力が生じ構造物のぜい性破壊を起こす危険性があり、せん断補強に注意を要すると考えられる。

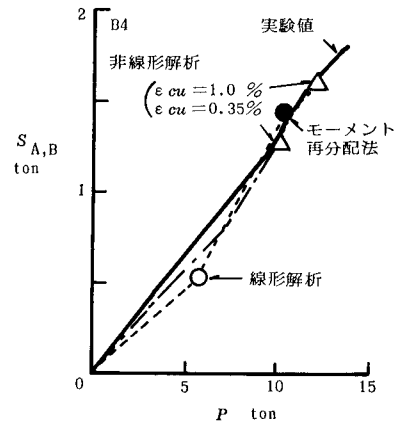


図-4 セン断力と荷重の関係

5. まとめ

- (1) 線形解析は終局耐力をかなり小さく評価する場合がある。また、計算値より大きなせん断力を生じる場合もあり、せん断補強に注意を要する。
- (2) モーメント再分配法は簡便で有用な手法と考えられるが、耐力を小さく評価する場合がある。
- (3) 非線形解析は、適用する構造における材料の性質を十分に把握しておく必要がある。

参考文献：1) T.SIRISREETREERUX, T.TANABE, "NONLINEAR ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE FRAMES", 土木学会論文報告集 No.292, 1979