

I-A123

一様圧縮力を受ける板要素の弾塑性接触強度

東北大学大学院工学研究科 ○ 学生員 山崎 誠幸
 東北大学大学院工学研究科 正 員 中沢 正利
 東北大学大学院工学研究科 正 員 岩熊 哲夫

1. まえがき

近年、複合構造の設計に対する共通の基準の整備が進められている。しかし、異種材料の組み合わせ方によっては両材料間の剥離や接触が生じることが予想され、複合構造の場合の各部材の挙動特性などはいまだ説明されていない部分も見受けられる。そこで、本研究では合成構造物の挙動特性を探る上で重要な項目の一つであるこの接触問題に着目し、基本的な圧縮板モデルに対して有限要素法による弾塑性数値解析を行い、その接触挙動および強度特性を調べたので報告する。

2. 解析対象および解析条件

解析モデルを図-1に示す。対象は面内の一方方向に一様な圧縮力 N_x を受ける鋼板であり、モデルの対象性より $1/4$ 領域のみを解析した。また、接触面については例えばコンクリートを想定しているが、鋼の板厚に対して十分に厚いことから、面外方向にたわんだ鋼板とコンクリートが接触した際の鋼板の面外力によるコンクリートの変形は無視できると考え、接触面は剛体とみなした。鋼板を完全弾塑性体とみなし、境界条件は周辺単純支持として変位制御により圧縮する。このときの解析パラメータを幅厚比 $\beta(=b/t)$ 、縦横比 $\alpha(=a/b, \text{ここでは} 1 \text{ とした})$ 、軸方向半波数 m とする他、鋼板と接触面との間に発生しうる隙間を考慮して次のように定義した接触距離パラメータ g を用いた。(図-2)

$$g \equiv \frac{\text{鋼板と接触面の最短距離}}{\text{鋼板の横長 } a} \dots\dots\dots (1)$$

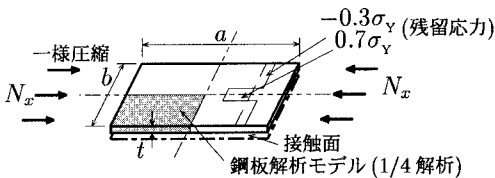


図-1 解析対象

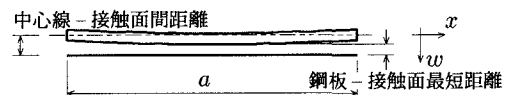


図-2 鋼板解析モデルの横断面図

3. 解析結果

(1) 面外方向変位と強度の関係

x 軸方向半波数 $m=1$ で初期たわみの大きさ $W_0/a = 1/1000$ 、幅厚比 $\beta = 60, 80$ の場合について荷重-面外変位曲線を図-3 および図-4 に示す。ここで、縦軸に軸方向荷重を弾性座屈荷重で除した値 P/P_{cr} を、横軸に面外方向変位と初期たわみの和を板厚で除した値 $(W+W_0)/t$ をとった。これより、座屈後に降伏するような板では接触面間距離によって最大耐荷力に相違がみられ、鋼板が接触側に座屈した場合は接触面間距離が狭いほどそれに比例して最大耐荷力も大きくなり、この場合は座屈した後でも鋼の降伏点まで強度が期待できる。また、接触した板が接触面と反対側に変形(以降、この現象をはね返りと呼ぶ)した後は解析値が乱れたものの、強度が低下して収束状態となる時の圧縮強度は非接触時とほぼ等しい。

(2) 幅厚比と局部変形半波長について

図-5 に軸方向ひずみ ϵ_x の増加に伴う板の変形形状を示す。ここで、縦軸は面外方向たわみを板厚で除した W/t 、横軸は板の横方向位置を表す無次元量 x/a である。はね返った鋼板の面外変形をみる際、たわみ角が 0 となる

Key Words: 板要素, 弾塑性接触問題, 接触面間距離, 局部変形半波長

〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 06 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 (022-217-7443, FAX 022-217-7441)

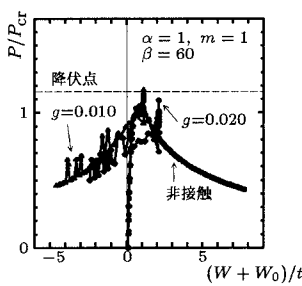


図-3 面外方向変位と強度の関係

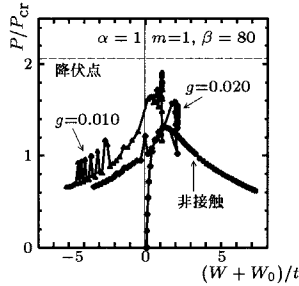


図-4 面外方向変位と強度の関係

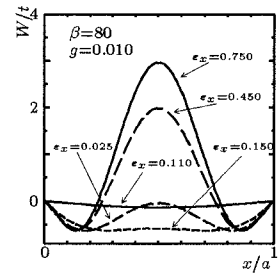


図-5 鋼板の変形の成長曲線

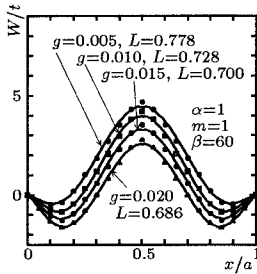


図-6 g の相違による L の比較

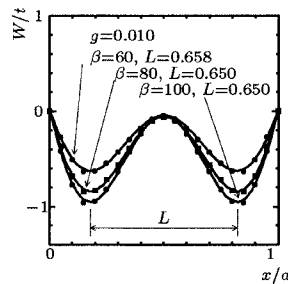


図-7 各幅厚比ごとの L の比較

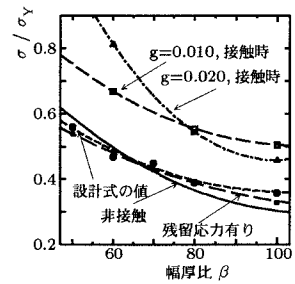


図-8 コンクリート圧壊時 ($\epsilon_x = 0.0035$) の降伏応力の比較

2ヶ所の節点を両端とする中央区間の半波長は、弾性問題では局部座屈に対する有効座屈長に、弾塑性の場合は塑性に伴う局部変形に起因する。ここではこの半波長を局部変形半波長と呼ぶことにして、次のような無次元量を定義する。

$$L \equiv \frac{\text{局部変形半波長}}{\text{鋼板の横長 } a} \dots\dots\dots (2)$$

図-7および図-6より、座屈後に降伏する場合については、 g に反比例して L が小さくなる傾向がみられるが、 L は幅厚比 β が変化してもほぼ一定値をとり、 L はほぼ g のみの関数として表わせることが分かる。

(3) 最大強度到達後の強度低下について

コンクリートを充填した角形鋼製橋脚などのように、鋼板がコンクリートの表面にある合成部材を設計する際、鋼板に取り付けられた補剛材がコンクリートに十分に固定されていないなどの理由でその効果が十分期待できない場合の設計圧縮強度は、一般に次式¹⁾によって算定される。

$$f'_{ud} = \frac{t_f}{b} \sqrt{E_s f'_{yd}} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 f'_{yd} は鋼板の設計圧縮降伏強度 (N/mm^2) であり、 E_s は鋼板のヤング係数 (N/mm^2)、 t_f は鋼板の板厚 (cm)、 b は鋼板の部材方向に配置された補剛材の間隔 (cm) を表す。

この式は鋼板の最大強度到達後の強度低下を考慮した圧縮強度特性を算定するために、板を柱モデルに置き換えて導出したものである。これに対して本研究では、板のモデルを直接解析していることから、この場合の解析値と式(3)による計算値を比較し、その妥当性を検討した。なお値の比較は、解析時に鋼板の軸方向ひずみがコンクリートの終局圧縮ひずみ $\epsilon_x = 0.0035$ に達した時点において行い、その結果を図-8に示す。ここで、図-8の曲線は2次式を用いた最小二乗法で近似したものである。これより、残留応力の有無によらずほぼ同等の結果になること、接触時は非接触の場合よりも強度が大きくなることが確認できた。また、実際の構造物で用いられる $\beta = 50 \sim 80$ の範囲において設計式は解析値をほぼ安全側で評価できることが分かった。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリートライブラリー 90 複合構造物設計・施工指針（案），pp.21-26, 1997.