

建設省 正会員 中洲啓太 早稲田大学理工学部 正会員 依田照彦

1. はじめに

鋼とコンクリートの新しい接合構造である埋込み接合は、波形鋼板ウェブの端部に孔をあけ、貫通横鉄筋を通し、コンクリート床版をその上からかぶせたタイプの接合方式である（図-1 参照）。埋込み接合は、従来のスタッドを用いたずれ止めに対して、鋼上フランジが不要になり、溶接の必要がなく、施工が容易になるという利点を持つ。また、波形の形状そのものがずれ止めとして働くなど、力学的にも優れた特性を有している。しかしながら、埋込み接合は面外曲げに対して明確な設計方法が存在しないのが現状である。ここでは、汎用コードを用いて FEM 解析を行い、面外曲げに対する力学的挙動を調査するとともに、設計方法について考察を行ったので報告する。

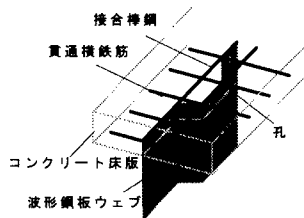


図-1 埋込み接合

2. 解析の概要

図-2 に示したモデルを用いて埋込み長および付着特性を変化させて面外曲げに関する3次元線形 FEM 解析を行った。モデルは波形鋼板1周期分とし、孔の形状は実際には円であるが、長方形とした。鋼とコンクリートの付着特性は力を伝達しない方向のヤング率を小さくすることによって考慮した。

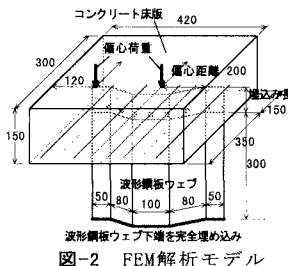


図-2 FEM解析モデル

3. 解析結果および考察

(1) 力の伝達機構

鋼とコンクリートの間に付着力を有するときは付着力が卓越し、付着を解除するとコンクリートジベルの支圧力およびせん断力が卓越した。埋め込まれた鋼板から受

ける横支圧力は、ジベルの破壊した最終段階で目立つようになる程度で、設計荷重時にはほとんど発生しないことがわかった。面外曲げにより接合部に発生

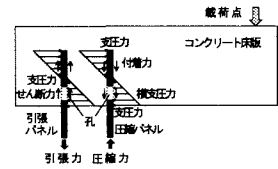


図-3 力の伝達機構

する力を図-3 に、力の伝達機構の変化を表-1 示す。

表-1 力の伝達機構の変化

段階	卓越する力
第1段階	付着力
第2段階	支圧力、せん断力
第3段階	横支圧力

(2) コンクリートジベルの挙動

引張パネルのコンクリートジベル付近における応力の発生状況を図-4 に示す。上下方向の応力は支圧力により、①付近が圧縮となり、支圧部の側方（③付近）に引張応力が発生した。横方向には支圧した前方（②～

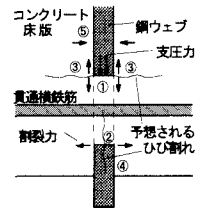


図-4 応力の発生状況

④付近）で割裂し、後方（③～⑤付近）で縮む傾向が見られた。圧縮パネルでは支圧力の向きが引張パネルと上下逆になるので応力の発生状況も上下にほぼ反転した。

(3) ウェブ直上の支圧

ウェブ直上の支圧力は圧縮パネルの上端に発生したが、コンクリートジベルの支圧力と比較して値は小さく大きな問題とはならなかった。

(4) 埋込み長の影響

上下方向の力の伝達が可能な場合、埋込み長による影響はほとんどなく、横支圧よりもジベルによる力の伝達が卓越していると考えられる。上下方向の力の伝達がない場合、埋込み長の増加とともに横支圧力は低下したが、その変化はわずかであった。実際には、埋込み長が大きくなると、横支圧力のモーメント分担率が上がることに伴ってジベルの負担の軽減、孔の縁端距離の増加による鋼の安定、鋼とコンクリートの付着面積の増加等により、

キーワード：合成桁、ずれ止め、偏心載荷、波形鋼板ウェブ、設計法

連絡先（〒169-8555 新宿区大久保3-4-1 51号館16-06室 TEL 03-5286-3399 FAX 03-5286-3399）

接合部の耐力は向上すると考えられる。

(5) 波形鋼板の応力

圧縮パネルで最大圧縮応力、引張パネルで最大引張応力が生じており、斜めパネルでは圧縮から引張へと徐々に変化している。また、上下方向の軸圧縮力の影響で圧縮パネルの応力の方が若干大きくなっている。

4. 設計方法についての考え方

(1) 接合部のコンクリートの強度

鋼とコンクリートの接合部は偏心モーメントに対し、図-3 に示した各力によって抵抗するが、力の伝達機構が表-1 のように変化するため、接合部の強度はそれらの負担分を単純に重ね合わせたものとはならない。したがって、コンクリートジベルの支圧力、せん断力、鋼板からの横方向支圧力それぞれが、単独で偏心モーメントに抵抗できるように設計する必要がある。

①コンクリートジベルの割裂強度：孔の中のコンクリートが孔の内面から支圧力を受けて割裂破壊することを想定したときの強度である(図-4 参照)。孔の中のコンクリートの支圧に対する強度は、周囲の鋼や貫通横鉄筋

の拘束効果により、通常の圧縮強度よりも大きくなる。コンクリートジベル1つあたりの割裂強度 V_1 は、図-5 に示した支圧強度試験結果¹⁾を利用して次式で評価できる。

$$V_1 = D \times t \times 5\sigma_c \quad (1)$$

ここに、 D は孔の直径、 t は波形鋼板の板厚、 σ_c はコンクリートの圧縮強度である。式(1)を用いるにあたっては、支圧強度試験との条件の違いに配慮するため、支圧面積に対してコンクリート床版が十分な面積を有すること、板厚に対して孔の大きさが大きすぎないこと(板厚/直径が 10 以下)、支圧力の方向と横方向に鉄筋が十分存在することの3点に注意しなければならない。

②コンクリートジベルのせん断強度

鋼ウェブの側面に沿ってコンクリートジベルがせん断破壊するときの強度である(図-6 参照)。コンクリート標準示方書²⁾の

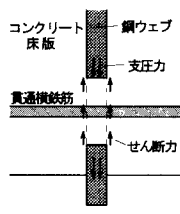


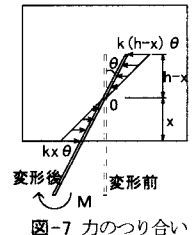
図-6 せん断応力

「6.3.7 設計せん断伝達耐力」におけるせん断断面を鉄筋が貫通する場合のコンクリートのせん断強度の考え方を利用すると、コンクリートジベル1つあたりのせん断強度 V_2 は次式で評価できる。

$$V_2 = 2 \times \frac{\pi d^2}{4} \times 0.45\sigma_c \quad (2)$$

ここに、 d は横方向鉄筋の直径である。式(2)は、孔を貫通しない横方向鉄筋が存在する場合に高い適合性を示すが、孔を貫通する場合は安全側となる。

③横支圧力による応力：埋め込まれた鋼板から受けるコンクリートの横支圧力は鋼とコンクリートの付着力やジベルの耐荷力が損なわれた最終的な段階に卓越する。最終的な破壊に対しても安全であるため、設計において考慮しておく必要がある。横支圧による圧縮応力を簡易に推定するため、鋼板を剛体と仮定し、力のつり合いを考えると最大圧縮応力 $\sigma_{\max}$ は次式のようにになる。



$$\sigma_{\max} = \frac{6Pe}{\ell h^2} \quad (3)$$

ここに、 P は偏心荷重の大きさ、 e は偏心距離、 ℓ は鋼板の長さ、 h は埋込長さである。

(2) 波形鋼板の応力

波形鋼板の応力 σ は偏心を考えない軸圧縮力と偏心モーメントによる曲げ応力の和として次式で評価できる。

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{PeH}{I2} \quad (4)$$

ここに、 A は水平面で切断した波形鋼板の断面積、 I は波形鋼板の断面2次モーメント、 H は波形形状の深さである。

5. 今後の課題

埋込み接合に関しては、本研究の他にも、過去に載荷試験などが行われており、全体的な力学的挙動や強度の概略値については徐々に明らかになりつつある。今後はジベルなど詳細な部分に着目した研究を行い、強度評価式の信頼性の向上を目指していく必要がある。

参考文献：1) William Shelson: Bearing Capacity of Concrete, Journal of The American Concrete Institute, vol.29, No.5, pp.405~415, 1957.

2)土木学会編：コンクリート標準示方書・設計編(平成8年制定)，土木学会，pp.69~71, 1996.