一方向に厚肉帯版を有する周辺を拘束した R/C 変厚床スラブの 終局耐力について

THE ULTIMATE LOAD BEARING CAPACITY OF ALL EDGE RESTRAINED R/C FLOOR SLABS WITH UNIDIRECTIONAL SLAB BANDS

川 治 正 則*, 坂 尻 公 也**, 上 田 正 生***, 土 橋 由 造****

*Masanori KAWAJI, Kohya SAKAJIRI, Masaiki UEDA
and Yoshizo DOBASHI*

This report describes the process by which the authors derived an ultimate load bearing capacity formula based on yield line theory for various kinds of floor slabs with unidirectional slab bands. The authors conducted tests on slabs with two unidirectional slab bands as samples to verify their formula. Furthermore, a few model floor slabs were compared with the samples on the basis of elasto-plastic analysis. Slab thickness, width, number of rows, and the span ratio of the slab bands were varied as the load bearing characteristics of the floor slabs with slab bands were compared and studied in various ways.

Keywords: slabs with two unidirectional slab bands, compressive membrane stress, yield line theory, elasto-plastic analysis, ultimate load bearing capacity, ultimate deflection
目型変厚版、圧縮膜力、降伏線理論、弾塑性解析、終局耐力、終局たわみ

1 はじめに

周辺を拘束した床版内に、厚肉帯版を配置した種々の変厚床版は、力学的には過大なたわみの制御に貢献でき、経済的にも優れた床組を構築するための選択肢を広げる構法の一つとして、単位床組が大スパン化の傾向にある最近の床スラブの、有力な合理的一構造法になりうるものと考えられる。

この変厚床スラブを、厚肉帯版の配置により分類すると、一方向に厚肉帯版を有する床スラブと、格子状の厚肉部をもつ床スラブの2系列となる。また、これらの変厚版を形態上から分類呼称すると、前者では日型変厚版、目型変厚版、後者では田型変厚版、囲型変厚版などがある。

筆者らは、床スラブの最も基本的な構造性能指標の一つである周辺固定時の終局耐力を、簡単に求めることのできる計算法として、降伏線理論による圧縮膜力を考慮した解析法を考究してきたが、^{1)~4)}この解析手法によると、

床スラブの終局耐力は、崩壊荷重近傍の最大荷重時における、版中央点たわみの関数として求められる。従って、変厚版の終局耐力を論ずる際には、版の厚肉部幅とスパンの比（厚肉部幅比）、および厚肉部と薄肉部の版厚比（変厚比）等の構造要素が、版中央部のたわみに対して、如何なる影響を及ぼすものかを解明する必要がある。

そのために筆者らは、変厚版の最も初源的な形態である周辺固定の日型変厚床スラブについて、厚肉部幅比と変厚比の異なる、多くの試験体を用いて破壊実験を行い、その分析と総合の結果から、床版が最大荷重に達した時点の、中央点たわみ Δ を回帰的に定義し、厚肉帯版を有する床スラブの Δ 値を算出するための概念式として、一般化することができた。²⁾

この Δ 値を用いて、もう一方の系列である格子状の厚肉部を有する変厚版の代表例として、田型および囲型変厚版の実験を行い、最大荷重時の版中央点たわみおよび終局耐力が、計算値と精度よく適合することを既に検証

* 日本データサービス

** 日本データサービス 工博

*** 北海道大学 助教授・工博

**** 北海道大学 名誉教授・工博

Nihon Data Service

Nihon Data Service, Dr. Eng.

Assistant Prof. of Hokkaido Univ., Dr. Eng.

Emeritus Prof. of Hokkaido Univ., Dr. Eng.

した^{3), 4)}さらにモデル床版を用いて、これらの版型の終局時の変形・耐力性状、ならびに曲げ・面内軸力などの諸応力の、終局耐力への寄与率等について考察し、極めて有用な知見を得ることができた。

降伏線理論の大前提となる降伏線の仮定は、実験における破断線を理想化したものであり、平版の場合は、負降伏線が版四周の拘束辺に沿って生じ、一方の正降伏線は、隅角部から45度の角度で版の中央部へと伸び、長辺に平行な中央部の降伏線と結合・結節して降伏線が完結し、この時の計算耐力が最小値となって、耐力の真値を与えることは、旧くから周知の事柄であった。

変厚床版の場合は、負降伏線は平版の場合と同様であるが、正降伏線の結節点は、最も単純な形態の日型版であっても、辺長比と厚肉部幅比の大小による相互関係によって、隅角部からの正降伏線の角度が45度とはならずに変動することが考えられ、実験による観察からも、結節点が判然とは確定し難い場合もある。従って、変厚版の正降伏線は、一般的には、結節点の位置を仮定して試行錯誤による計算を行って、耐力の最小値を与える結節点の位置を見出さねばならない。

この報告では等分布荷重を受ける、周辺を拘束した一方向に1～4列の厚肉帯版をもつ種々な変厚床スラブの最小耐力値を求めるため、降伏線形成時における正降伏線の結節点位置を領域別に設定して、終局耐力の解析式を整備した。

また、目型変厚版を範例として実験を行い、変形・耐力性状に対する計算値の適合性を検証した。さらにモデル床版を用いて、①厚肉帯版の幅のみを変えて、帯版列数を1～4本とした同体積な各変厚版の変形・耐力性状の傾向、および正降伏線結節点の変動の様相を考察した。特に、②結節点の変動を詳細に検証するために、日型と目型変厚版を例にとり、結節点と耐力の関係を論じ、さらにまた、③目型変厚版を代表例として、薄・厚肉部版厚、厚肉部幅、辺長比等を種々に変えて、4系列に分類したモデル床版に対して、終局耐力への薄版と厚版、或いはコンクリートの軸力と鉄筋による分担率、およびたわみと耐力の関係等を論及し、さらに、有限積層要素法による弾塑性解析を行い、降伏線理論解との対応性について検討した。

2 圧縮膜力を考慮した降伏線理論による終局耐力式

等分布荷重をうける一方向に1～4本の厚肉帯版を有する変厚版、および6点集中荷重を受ける実験目型変厚版について、周辺固定時の圧縮膜力を考慮した終局耐力式を、降伏線理論により求める(記号は文献2)参照)。

なお各変厚版は、厚版の厚さと幅をそれぞれ同一とし、かつ厚版で区切られた各薄版部分の版厚と幅も同一として作式する。

図1 日型変厚版の降伏モードと記号

図2 帯版の降伏断面における内力作用

2.1 断面力

図1のように、床版の中央線C-Cが原平面に対して△の鉛直変形をしたとき、xの位置にある塑性関節Bの変位がzなるy方向帯版について考える。負降伏線上の版中央面に作用している膜力と曲げモーメントN', M'は、図2に示す断面力のつり合いから次式のようになる。

$$\left. \begin{aligned} N' &= C'_c + C'_s - T' = k_1 k_3 F_c n'_1 d + C'_s - T' \\ M' &= k_1 k_3 F_c n'_1 d (0.5 d - k_2 n'_1 d) \\ &\quad + C'_s (0.5 d - d'_1) + T' (d'_1 - 0.5 d) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

また、正降伏線上での軸力と曲げモーメントN, Mも同様に求められる。中立軸比n₁′, n₁は両端部AB間の幾何学的条件とN′=Nから、次のように求まる。

$$\left. \begin{aligned} n'_1 &= 0.5 \left(1 - \frac{Z}{2d} + \frac{T' - T - C'_s + C_s}{k_1 k_3 F_c d} \right) \\ n_1 &= 0.5 \left(1 - \frac{Z}{2d} - \frac{T' - T - C'_s + C_s}{k_1 k_3 F_c d} \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

(2)式を(1)式に代入して帯版ABの曲げモーメントの総和を求めると、下式になる。

$$M + M' - NZ = \alpha + \beta Z + \gamma Z^2 \dots\dots\dots (3)$$

ここに

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= 0.5 k_1 k_3 (1 - k_2) F_c d^2 \\ &\quad - \frac{k_2}{2 k_1 k_3 F_c} (T' - T - C'_s + C_s)^2 \\ &\quad + C'_s (0.5 d - d_2) + C'_s (0.5 d - d'_1) \\ &\quad + T (d_1 - 0.5 d) + T' (d'_1 - 0.5 d) \\ \beta &= 0.25 k_1 k_3 (2 k_2 - 3) F_c d \\ &\quad + 0.5 (T' + T - C'_s - C_s) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

$$\gamma = 0.125 k_1 k_3 (2 - k_2) F_c$$

ただし係数 α 、 β は、薄肉部については α_1 、 β_1 、厚肉部は α_2 、 β_2 とする。

なお帯版の変断面部は、図 2 (b) で示すように、厚版スパン方向に直交する点線表示の厚肉部下端筋は、有効な定着長の殆どない補助筋である。かつ、この帯版中央部下側に突出しているコンクリート部分は、曲げ応力的に弾性時から引張側になっているのが一般であり、また終局時においては、大きな正の曲げ応力によるひび割れによって、凸型断面として機能しなくなっているものと考えられるので、変断面部の断面力は、薄肉の等断面部図 2 (a) に同一と仮定して算定することとする。

2.2 日型変厚版の終局耐力式の誘導

図 1 Case 1 について、日型変厚床版の中央線 C-C の鉛直変位が Δ のとき、帯版の回転は、x 方向が $2\Delta/\ell$ 、y 方向が Δ/n であるから、図中のハッチした 1/4 部分の内力仕事 E_i は次のようになる。

$$E_i = \int_0^{\frac{\lambda-u}{2}\ell} \left(a_{1x} + \beta_{1x} Z_y + \gamma Z_y^2 \right) \frac{2\Delta}{\ell} dy + \int_{\frac{\lambda-u}{2}\ell}^{\frac{\lambda-u}{2}\ell} \left(a_{2x} + \beta_{2x} Z_y + \gamma Z_y^2 \right) \frac{2\Delta}{\ell} dy + \left(\frac{\lambda}{2} - n \right) \ell (a_{2x} + \beta_{2x} \Delta + \gamma \Delta^2) \frac{2\Delta}{\ell} + \int_0^{\frac{\lambda}{2}} \left(a_{1y} + \beta_{1y} Z_x + \gamma Z_x^2 \right) \frac{\Delta}{n\ell} dx \quad (5)$$

ここに、正降伏線の鉛直変位は、y の位置にある x 方向帯版では、 $Z_y = \Delta y / n\ell$ 、x の位置にある y 方向帯版では、 $Z_x = 2\Delta x / \ell$ であるから、(5) 式は下のようになる。

$$E_i = \Delta (\lambda - \mu) \left\{ a_{1x} + \frac{1}{4n} (\lambda - \mu) \beta_{1x} \Delta + \frac{1}{12n^2} (\lambda - \mu)^2 \gamma \Delta^2 \right\} + \Delta \left[(2n - \lambda + \mu) a_2 + \frac{1}{n} \left\{ n^2 - \frac{1}{4} (\lambda - \mu)^2 \right\} \beta_{2x} \Delta \right] + \frac{2}{3n^2} \left\{ n^3 - \frac{1}{8} (\lambda - \mu)^3 \right\} \gamma \Delta^2 + \Delta (\lambda - 2n) (a_2 + \beta_{2x} \Delta + \gamma \Delta^2) + \frac{\Delta}{n} \left(\frac{1}{2} a_{1y} + \frac{1}{4} \beta_{1y} \Delta + \frac{1}{6} \gamma \Delta^2 \right) \quad (6)$$

次に、図 3 のように区切られた各領域について、重心位

図3 外力の重心位置と鉛直変位

置の長、短辺からの距離、及び重心位置の鉛直変位を求める。

重心位置 a ~ d 点の、長辺からの距離 $x_1 \sim x_4$ 、及び重心位置 e ~ g 点の、短辺からの距離 $y_1 \sim y_3$ は、

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{\lambda - \mu}{12n} \ell, x_2 = \frac{\lambda - \mu}{8n} \ell, x_3 = \frac{1}{4} \ell, x_4 = \frac{\lambda - \mu + n}{6n} \ell \\ y_1 &= \frac{\lambda - \mu}{6} \ell, y_2 = \frac{\lambda - \mu}{4} \ell, y_3 = \frac{\lambda - \mu + n}{3} \ell \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

従って、中央部正降伏線が原平面から Δ の鉛直変形をしたときの、重心位置 a ~ d 点、及び e ~ g 点の鉛直変位 $Z_{y1} \sim Z_{y4}$ 、 $Z_{x1} \sim Z_{x3}$ は、次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} Z_{y1} &= \frac{\lambda - \mu}{6n} \Delta, Z_{y2} = \frac{\lambda - \mu}{4n} \Delta, Z_{y3} = \frac{\Delta}{2}, Z_{y4} = \frac{\lambda - \mu + n}{3n} \Delta \\ Z_{x1} &= \frac{\lambda - \mu}{6n} \Delta, Z_{x2} = \frac{\lambda - \mu}{4n} \Delta, Z_{x3} = \frac{\lambda - \mu + n}{3n} \Delta \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

薄肉、厚肉部自重を w_1 、 w_2 とし、等分布荷重 w を受ける場合の外力仕事 E_o を求めると、次のようになる。

$$E_o = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} n w \ell^2 \times 2 \times \frac{1}{3} \Delta + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} \ell - n \right) w \ell^2 \times \frac{1}{2} \Delta + \frac{1}{2} \times \frac{\lambda - \mu}{2} \times \frac{\lambda - \mu}{4n} w_1 \ell^2 \times \frac{\lambda - \mu}{6n} \Delta + \frac{2n - \lambda + \mu}{2} \times \frac{\lambda - \mu}{4n} w_2 \ell^2 \times \frac{\lambda - \mu}{4n} \Delta + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} \ell - n \right) w_2 \ell^2 \times \frac{1}{2} \Delta + \frac{1}{2} \times \frac{2n - \lambda + \mu}{2} \times \frac{2n - \lambda + \mu}{4n} w_2 \ell^2 \times \frac{\lambda - \mu + n}{3n} \Delta + \frac{1}{2} \times \frac{\lambda - \mu}{2} \times \frac{\lambda - \mu}{4n} w_1 \ell^2 \times \frac{\lambda - \mu}{6n} \Delta + \frac{\lambda - \mu}{2} \times \frac{2n - \lambda + \mu}{4n} w_1 \ell^2 \times \frac{\lambda - \mu}{4n} \Delta + \frac{1}{2} \times \frac{2n - \lambda + \mu}{2} \times \frac{2n - \lambda + \mu}{4n} w_2 \ell^2 \times \frac{\lambda - \mu + n}{3n} \Delta = \Delta \left[\frac{1}{24} (3\lambda - 2n) w \ell^2 + \frac{1}{6} \left(\frac{\lambda - \mu}{4n} \right)^2 (6n - \lambda + \mu) w_1 \ell^2 + \left\{ \frac{1}{32n^2} (\lambda - \mu)^2 (2n - \lambda + \mu) + \frac{1}{4} \left(\frac{1}{2} - n \right) \right\} w_2 \ell^2 + \frac{1}{24n^2} (2n - \lambda + \mu)^2 (\lambda - \mu + n) w_2 \ell^2 \right] \quad (9)$$

内力仕事 E_i と外力仕事 E_o を等置して整理すると、自重を含め終局耐力 w は、次のように求まる。

$$w = \frac{24}{(3\lambda - 2n) \ell^2} \left[(\lambda - \mu) \left\{ a_{1x} + \frac{1}{4n} (\lambda - \mu) \beta_{1x} \Delta \right\} + \frac{1}{12n^2} (\lambda - \mu)^2 \gamma \Delta^2 \right] + (2n - \lambda + \mu) a_2 + \frac{1}{n} \left\{ n^2 - \frac{1}{4} (\lambda - \mu)^2 \right\} \beta_{2x} \Delta + \frac{2}{3n^2} \left\{ n^3 - \frac{1}{8} (\lambda - \mu)^3 \right\} \gamma \Delta^2 + (\lambda - 2n) (a_2 + \beta_{2x} \Delta + \gamma \Delta^2) + \frac{1}{n} \left(\frac{1}{2} a_{1y} + \frac{1}{4} \beta_{1y} \Delta + \frac{1}{6} \gamma \Delta^2 \right) - \frac{1}{6} \left(\frac{\lambda - \mu}{4n} \right)^2 (6n - \lambda + \mu) w_1 \ell^2 - \left\{ \frac{1}{32n^2} (\lambda - \mu)^2 (2n - \lambda + \mu) + \frac{1}{4} \left(\frac{1}{2} - n \right) \right\} w_2 \ell^2 + \frac{1}{24n^2} (2n - \lambda + \mu)^2 (\lambda - \mu + n) w_2 \ell^2 \right] \quad (10)$$

以下、各式の誘導過程は同様の手順を踏むことになる

が煩雑さを避け、かつ紙幅の関係上誘導過程は省略し、結果の式のみを記すこととする。又、次節2.3 から2.6節までも同様とする。

Case 2

$$W = \frac{24}{(3l-2n)l^2} \left\{ 2n \left(a_{1x} + \frac{1}{2} \beta_{1x} \Delta + \frac{1}{3} \gamma \Delta^2 \right) + (l-2n-\mu) (a_{1x} + \beta_{1x} \Delta + \gamma \Delta^2) + \mu (a_{2x} + \beta_{2x} \Delta + \gamma \Delta^2) + \frac{1}{12n} (6a_{1x} + 3\beta_{1x} \Delta + 2\gamma \Delta^2) - \frac{1}{24} (3l-2n-3\mu) w_1 l^2 - \frac{1}{8} \mu w_2 l^2 \right\} \quad (11)$$

なお、式(10)と(11)には、正降伏線の結節点の位置を示す変数 n を含んでいるが、実際の数値計算に当っては、降伏モードCase 1とCase 2の n を変動させ、試行錯誤による計算を行って最小値を与える終局荷重を求めることとし、以下同様に扱うものとする。

2.3 目型変厚版の終局耐力式

目型変厚版の降伏モードは、図4に示すCase 1～Case 3の3通りが考えられる。それぞれの場合に対する耐力式は次のようになる。

Case 1

$$W = \frac{24}{(3l-2n)l^2} \left\{ \frac{2}{3} (\lambda-2\mu) \left\{ a_{1x} + \frac{1}{6n} (\lambda-2\mu) \beta_{1x} \Delta + \frac{1}{27n^2} (\lambda-2\mu)^2 \gamma \Delta^2 \right\} + \mu \left\{ 2a_{2x} + \frac{1}{3n} (2\lambda-\mu) \beta_{2x} \Delta + \frac{2}{9n^2} (\lambda^2 - \mu\lambda + \mu^2) \gamma \Delta^2 \right\} + \frac{2}{3} (3n-\lambda-\mu) a_{1x} + \left\{ n - \frac{1}{9n} (\lambda+\mu)^2 \right\} \beta_{1x} \Delta + \frac{2}{3} \left\{ n - \frac{1}{27n^2} (\lambda+\mu)^3 \right\} \gamma \Delta^2 + (\lambda-2n) (a_{1x} + \beta_{1x} \Delta + \gamma \Delta^2) + \frac{1}{n} \left(\frac{1}{2} a_{1x} + \frac{1}{4} \beta_{1x} \Delta + \frac{1}{6} \gamma \Delta^2 \right) - \left\{ \left(\frac{\lambda-2\mu}{18n} \right)^2 (9n+2\mu-\lambda) + \frac{1}{162n^2} (3n-\lambda-\mu)^2 (2\lambda+2\mu+3n) \right\} w_1 l^2 + \frac{1}{108n^2} (\lambda+\mu)^2 (3n-\lambda-\mu) + \frac{1}{8} (\lambda-2n) \right\} w_2 l^2 - \frac{\mu}{6n^2} \left\{ \mu (\lambda-\mu) + \frac{1}{6} (\lambda-2\mu)^2 + \frac{1}{6} (2\lambda-\mu) (3n-\lambda-\mu) \right\} w_2 l^2 \right\} \quad (12)$$

Case 2

$$W = \frac{24}{(3l-2n)l^2} \left\{ \frac{2}{3} (\lambda-2\mu) \left\{ a_{1x} + \frac{1}{6n} (\lambda-2\mu) \beta_{1x} \Delta + \frac{1}{27n^2} (\lambda-2\mu)^2 \gamma \Delta^2 \right\} + 2 \left\{ n - \frac{1}{3} (\lambda-2\mu) \right\} a_{2x} + \frac{1}{n} \left\{ n^2 - \frac{1}{9} (\lambda-2\mu)^2 \right\} \beta_{2x} \Delta + \frac{2}{3n^2} \left\{ n^3 - \frac{1}{27} (\lambda-2\mu)^3 \right\} \gamma \Delta^2 \right\}$$

図4 目型変厚版の降伏モード

$$+ \frac{2}{3} (\lambda+\mu-3n) (a_{2x} + \beta_{2x} \Delta + \gamma \Delta^2) + \frac{1}{3} (\lambda-2\mu) (a_{1x} + \beta_{1x} \Delta + \gamma \Delta^2) + \frac{1}{n} \left(\frac{1}{2} a_{1x} + \frac{1}{4} \beta_{1x} \Delta + \frac{1}{6} \gamma \Delta^2 \right) - \left\{ \left(\frac{\lambda-2\mu}{18n} \right)^2 (9n+2\mu-\lambda) + \frac{1}{24} (\lambda-2\mu) \right\} w_1 l^2 - \left\{ \frac{1}{108n^2} (\lambda-2\mu)^2 (3n-\lambda+2\mu) + \frac{1}{12} (\lambda+\mu-3n) + \frac{1}{162n^2} (3n-\lambda+2\mu)^2 (2\lambda-4\mu+3n) \right\} w_2 l^2 \right\} \quad (13)$$

Case 3

$$W = \frac{24}{(3l-2n)l^2} \left\{ 2n \left(a_{1x} + \frac{1}{2} \beta_{1x} \Delta + \frac{1}{3} \gamma \Delta^2 \right) + (l-2n-2\mu) (a_{1x} + \beta_{1x} \Delta + \gamma \Delta^2) + 2\mu (a_{2x} + \beta_{2x} \Delta + \gamma \Delta^2) + \frac{1}{12n} (6a_{1x} + 3\beta_{1x} \Delta + 2\gamma \Delta^2) - \frac{1}{24} (3l-2n-6\mu) w_1 l^2 - \frac{\mu}{4} w_2 l^2 \right\} \quad (14)$$

2.4 厚肉帯版3列の変厚版の終局耐力式

図5に示す3種類の降伏モードに対する耐力式は、以下のようになる。

Case 1

$$W = \frac{24}{(3l-2n)l^2} \left\{ \frac{1}{2} (\lambda-3\mu) \left\{ a_{1x} + \frac{1}{8n} (\lambda-3\mu) \beta_{1x} \Delta + \frac{1}{48n^2} (\lambda-3\mu)^2 \gamma \Delta^2 \right\} + \mu \left\{ 2a_{2x} + \frac{1}{2n} (\lambda-\mu) \beta_{2x} \Delta + \frac{1}{24n^2} (3\lambda^2 - 6\mu\lambda + 7\mu^2) \gamma \Delta^2 \right\} + \frac{1}{2} (4n-\lambda-\mu) a_{1x} + \frac{1}{16n} \{ 16n^2 - (\lambda+\mu)^2 \} \beta_{1x} \Delta + \frac{1}{96n^2} \{ 64n^3 - (\lambda+\mu)^3 \} \gamma \Delta^2 + (\lambda-2\mu) (a_{1x} + \beta_{1x} \Delta + \gamma \Delta^2) + \mu (a_{2x} + \beta_{2x} \Delta + \gamma \Delta^2) + \frac{1}{2n} \left(a_{1x} + \frac{1}{2} \beta_{1x} \Delta + \frac{1}{3} \gamma \Delta^2 \right) - \frac{1}{760n^2} \left[2(\lambda-3\mu)^3 + 96n^2 (\lambda-\mu-2n) + 3(\lambda-3\mu)^2 (4n-\lambda+3\mu) + (4n-\lambda-\mu) \{ 3(\lambda+\mu)^2 + 4(4n-\lambda-\mu)(2n+\lambda+\mu) \} \right] w_1 l^2 - \frac{\mu}{192n^2} \left\{ 3(\lambda-3\mu)^2 + 24n^2 + 8\mu(3\lambda-5\mu) + 4(4n-\lambda-\mu)(\lambda+\mu+2n) \right\} w_2 l^2 \right\} \quad (15)$$

Case 2

$$W = \frac{24}{(3l-2n)l^2} \left\{ \frac{1}{2} (\lambda-3\mu) \left\{ a_{1x} + \frac{1}{8n} (\lambda-3\mu) \beta_{1x} \Delta + \frac{1}{48n^2} (\lambda-3\mu)^2 \gamma \Delta^2 \right\} + \frac{1}{2} (4n-\lambda+3\mu) a_{2x} + \left\{ n - \frac{1}{16n} (\lambda-3\mu)^2 \right\} \beta_{2x} \Delta + \frac{1}{3} \left\{ n - \frac{1}{64n^2} (\lambda-3\mu)^3 \right\} \gamma \Delta^2 + \frac{1}{2} (\lambda+3\mu-4n) (a_{2x} + \beta_{2x} \Delta + \gamma \Delta^2) + \frac{1}{2} (\lambda-3\mu) (a_{1x} + \beta_{1x} \Delta + \gamma \Delta^2) \right\}$$

図5 厚肉帯版3列の降伏モード

$$\begin{aligned}
& + \frac{1}{2n} \left(a_{1y} + \frac{1}{2} \beta_{1y} \Delta + \frac{1}{3} \gamma \Delta^2 \right) - \frac{\lambda - 3\mu}{768n^2} \{ 2(\lambda - 3\mu)^2 \\
& + 48n^2 + 3(\lambda - 3\mu)(4n - \lambda + 3\mu) \} w_1 l^2 \\
& - \left[\frac{1}{768n^2} (4n - \lambda + 3\mu) \{ 3(\lambda - 3\mu)^2 + 4(4n - \lambda + 3\mu)(\lambda - 3\mu + 2n) \} \right. \\
& \left. + \frac{1}{16} (\lambda + \mu - 4n) + \frac{1}{8} \mu \right] w_2 l^2 \Bigg] \dots \dots \dots (16)
\end{aligned}$$

Case 3

$$\begin{aligned}
W = & \frac{24}{(3l-2n)l^2} \left\{ 2n \left(a_{1x} + \frac{1}{2} \beta_{1x} \Delta + \frac{1}{3} \gamma \Delta^2 \right) \right. \\
& + (1-2n-3\mu)(a_{1x} + \beta_{1x} \Delta + \gamma \Delta^2) \\
& + 3\mu(a_2 + \beta_2 \Delta + \gamma \Delta^2) + \frac{1}{12n} (6a_{1y} + 3\beta_{1y} \Delta + 2\gamma \Delta^2) \\
& \left. - \frac{1}{24} (3l-2n-9\mu) w_1 l^2 - \frac{3}{8} \mu w_2 l^2 \right\} \dots \dots \dots (17)
\end{aligned}$$

2.5 厚肉帯版 4 列の変厚版の終局耐力式

厚肉帯版が 4 列の場合は、図 6 に示す 2 種類の降伏モードが考えられる。各々に対する耐力式を以下に示す。

Case 1

$$\begin{aligned}
W = & \frac{24}{(3l-2n)l^2} \left[\frac{2}{5} (\lambda - 4\mu) \left\{ a_{1x} + \frac{1}{10n} (\lambda - 4\mu) \beta_{1x} \Delta \right. \right. \\
& + \frac{1}{75n^2} (\lambda - 4\mu)^2 \gamma \Delta^2 \Big\} + \frac{2}{5} (5n - \lambda - \mu) a_{1x} + \frac{1}{25n} \{ 25n^2 \\
& - (\lambda + \mu)^2 \} \beta_{1x} \Delta + \frac{2}{375n^2} \{ 125n^3 - (\lambda + \mu)^3 \} \gamma \Delta^2 \\
& + (\lambda - 2n - 2\mu)(a_{1x} + \beta_{1x} \Delta + \gamma \Delta^2) \\
& + \frac{1}{2n} \left(a_{1y} + \frac{1}{2} \beta_{1y} \Delta + \frac{1}{3} \gamma \Delta^2 \right) + \mu \left\{ 2a_2 + \frac{1}{10n} (2\lambda - 3\mu) \beta_2 \Delta \right. \\
& + \frac{1}{75n^2} (3\lambda^2 - 9\mu\lambda + 13\mu^2) \lambda \Delta^2 \Big\} + 2\mu(a_2 + \beta_2 \Delta + \gamma \Delta^2) \Big] \\
& - \frac{2}{125n^2(3l-2n)} \left[2(\lambda - 4\mu)^3 + \frac{3.75}{2} n^2 (\lambda - 2\mu - 2n) \right. \\
& + 3(\lambda - 4\mu)^2 (5n - \lambda + 4\mu) + (5n - \lambda - \mu) \{ 3(\lambda + \mu)^2 \\
& + 2(5n - \lambda - \mu)(2\lambda + 2\mu + 5n) \} \Big] w_1 \\
& - \frac{2\mu}{25n^2(3l-2n)} \{ 3(\lambda - 4\mu)^2 + 10\mu(3\lambda - 7\mu) \\
& + 75n^2 + 3(2\lambda - 3\mu)(5n - \lambda - \mu) \} w_2 \dots \dots \dots (18)
\end{aligned}$$

Case 2

$$\begin{aligned}
W = & \frac{24}{(3l-2n)l^2} \left[\frac{2}{5} (\lambda - 4\mu) \left\{ a_{1x} + \frac{1}{10n} (\lambda - 4\mu) \beta_{1x} \Delta \right. \right. \\
& + \frac{1}{75n^2} (\lambda - 4\mu)^2 \gamma \Delta^2 \Big\} + \frac{3}{5} (\lambda - 4\mu)(a_{1x} + \beta_{1x} \Delta + \gamma \Delta^2) \\
& + \frac{1}{2n} \left(a_{1y} + \frac{1}{2} \beta_{1y} \Delta + \frac{1}{3} \gamma \Delta^2 \right) + \frac{2}{5} (5n - \lambda + 4\mu) a_2 \\
& + \frac{1}{25n} \{ 25n^2 - (\lambda - 4\mu)^2 \} \beta_2 \Delta + \frac{2}{375n^2} \{ 125n^3 - (\lambda - 4\mu)^3 \} \gamma \Delta^2
\end{aligned}$$

図6 厚肉帯版 4 列の降伏モード

$$\begin{aligned}
& + \frac{2}{5} (\lambda + 6\mu - 5n)(a_2 + \beta_2 \Delta + \gamma \Delta^2) \Big] \\
& - \frac{12}{5n^2} \left(\frac{\lambda - 4\mu}{3l - 2n} \right) \left\{ \frac{1}{75} (\lambda - 4\mu)^2 + \frac{3}{4} n^2 \right. \\
& + \frac{1}{50} (\lambda - 4\mu)(5n - \lambda + 4\mu) \Big\} w_1 - \frac{24}{3l - 2n} \left[\frac{1}{20} (\lambda + 6\mu - 5n) \right. \\
& + \frac{1}{1500n^2} (5n - \lambda + 4\mu) \{ 3(\lambda - 4\mu)^2 \\
& + 2(5n - \lambda + 4\mu)(2\lambda - 8\mu + 5n) \} \Big] w_2 \dots \dots \dots (19)
\end{aligned}$$

2.6 目型変厚正方形実験版の終局耐力式

実験版解析のため、帯版の中心線上に等間隔な 6 点集中荷重を受ける目型正方形版の耐力式を、図 7 の Case 1 ~ Case 3 の降伏モードに対して求めると、次式になる。

Case 1

$$\begin{aligned}
P_{rs} = & 4(1-2u) \left\{ a_{1x} + \frac{1-2u}{2-u} \beta_{1x} \Delta + \frac{4}{3} \left(\frac{1-2u}{2-u} \right)^2 \gamma \Delta^2 \right\} \\
& + 6u \left\{ a_2 + \frac{1}{2} \left(\frac{4-5u}{2-u} \right) \beta_2 \Delta + \frac{4-10u+7u^2}{(2-u)^2} \gamma \Delta^2 \right\} \\
& + 6u(a_2 + \beta_2 \Delta + \gamma \Delta^2) + 2(1-2u)(a_{1x} + \beta_{1x} \Delta + \gamma \Delta^2) \\
& + \frac{6}{2-u} \left\{ 3a_{1y} + \frac{3}{2} \beta_{1y} \Delta + \gamma \Delta^2 \right\} \\
& - \left\{ \frac{1}{3} \left(\frac{1-2u}{2-u} \right)^2 (4+u) + \frac{1}{4} (1-2u) \right\} w_1 l^2 \\
& - 3u \left\{ \left(\frac{1-2u}{2-u} \right)^2 + \frac{1}{4} + \frac{3u(2-3u)}{2(2-u)^2} \right\} w_2 l^2 \\
& + (1-2u) w_1 l^2 + 2u w_2 l^2 \dots \dots \dots (20)
\end{aligned}$$

Case 2

$$\begin{aligned}
P_{rs} = & 4(1-2u) \left\{ a_{1x} + \frac{1}{6n} (1-2u) \beta_{1x} \Delta + \frac{1}{27n^2} (1-2u)^2 \gamma \Delta^2 \right\} \\
& + 12 \left\{ n - \frac{1}{3} (1-2u) \right\} a_2 + \frac{6}{n} \left\{ n^2 - \frac{1}{9} (1-2u)^2 \right\} \beta_2 \Delta \\
& + \frac{4}{n^2} \left\{ n^3 - \frac{1}{27} (1-2u)^3 \right\} \gamma \Delta^2 + 4(1+u-3n)(a_2 + \beta_2 \Delta + \gamma \Delta^2) \\
& + \frac{1}{n} \left\{ 3a_{1y} + \frac{3}{2} \beta_{1y} \Delta + \gamma \Delta^2 \right\} + 2(1-2u)(a_{1x} + \beta_{1x} \Delta + \gamma \Delta^2) \\
& - \left\{ \frac{1}{54} \left(\frac{1-2u}{n} \right)^2 (9n+2u-1) + \frac{1}{4} (1-2u) \right\} w_1 l^2 \\
& - \left\{ \frac{1}{18n^2} (1-2u)^2 (3n-1+2u) + \frac{1}{2} (1+u-3n) \right. \\
& + \frac{1}{27n^2} (3n-1+2u)^2 (2-4u+3n) \Big\} w_2 l^2 \\
& + (1-2u) w_1 l^2 + 2u w_2 l^2 \dots \dots \dots (21)
\end{aligned}$$

Case 3

$$\begin{aligned}
P_{rs} = & \frac{12n}{2-\mu+6n} \left[\text{Case 2 の自重項最後の 2 項を除く } P_{rs} \text{ 式} \right] \\
& + (1-2u) w_1 l^2 + 2u w_2 l^2 \dots \dots \dots (22)
\end{aligned}$$

図7 6点集中荷重時目型変厚版の降伏モード

表2 終局耐力の実験値と計算値の比較

終局耐力 (tf)				実験/計算		
実験値	計算値			P_E	P_{PS}	P_J
P_E	P_{PS}	P_{FEM}	P_J	P_{PS}	P_{FEM}	P_J
11.3	11.4	11.6	6.3	0.99	0.97	1.79

(3) 終局耐力の実験値と計算値の比較

図11に、実験版の荷重・たわみ曲線と有限積層要素法による弾塑性曲線を描き、また圧縮膜力を考慮した降伏線理論による終局耐力 P_{ps} と、膜力不考慮のJohansen 値 P_J を示し、併せて表2に、計算値を実験耐力と比較して掲げた。

有限積層要素解析による終局耐力は P_{ps} より1.8%ほど大きく、版中央点の最大荷重時たわみは、実験値と計算値がほぼ一致している。また降伏線理論値 P_{ps} は実験耐力 P_E と極めてよく合致しており、周辺固定目型変厚版に対する本解析法は、適合精度の高い計算法であることがわかる。従って、次章で扱う同系列のモデル床版に対しては、式(23)の Δ 値を用いて耐力計算を行うこととする。なお、参考までに示した圧縮膜力不考慮のJohansen理論による耐力 P_J は、実験値に比べて約56%の低い値となっている。

4 モデル床版による耐力性能の比較と考察

等分布荷重をうける周辺固定の、一方向に同一厚肉の帯版をもつ数種の変厚床版を計算して、変形・耐力性状について種々の比較と考察を行うこととする。なお、モデル床版の解析に当っては、鉄筋のかぶり厚さを3cmとし、材料等の共通諸元は表3に掲げる値とした。

4.1 厚肉帯版の列数を増加させた変厚版

(1) モデル床版の概要

比較計算用のモデル床版は、表4で示すように短辺長 $\ell = 7.5$ m、辺長比 $\lambda = 2$ 、厚肉部幅 $B = 2.7$ mの日型変厚版OW1を基準とし、この厚肉帯版を順次分割して2列(目型版)、3列、および4列配置とした、いずれも厚肉部幅の合計が同一のOW2(目型版)、OW3、

表3 材料の諸元

コンクリート					鉄 筋	
F_c kgf/cm ²	$c \sigma_t$ kgf/cm ²	E_c tf/cm ²	$E_{1/3}$ tf/cm ²	ν	$s \sigma$ tf/cm ²	E_s tf/cm ²
210	21.0	260	210	0.2	3.5	2100

表4 厚肉帯版列数の異なるモデル床版の諸寸法

帯版列数	符 号	厚肉部幅		版 厚		
		B (m)	μ	D (cm)	d (cm)	D/d
1	OW1	270	0.36	36	15	2.4
2	OW2	135	0.18			
3	OW3	90	0.12			
4	OW4	67.5	0.09			

註：全て $\ell = 7.5$ m、 $\lambda = 2.0$

図12 OW2の配筋詳細 (単位mm)

OW4の4種類である。

版厚は薄肉部を15cm、厚肉部を36cmとし、OW2の配筋を図12に示す。ほかのモデル床版は、薄肉部をOW2と同様の鉄筋間隔とし、厚肉部はOW2の厚肉部の鉄筋比に同一とした。

(2) 厚肉帯版列数による耐力比較

終局耐力の計算結果を図13に示したが、厚肉帯版が1列と2列のOW1、OW2は正降伏線の結節点が版の隅角部から45度線の薄肉部に生じ、厚肉帯版3列のOW3は版の外側厚肉部の中間に、帯版4列のOW4では外側厚版の内側、すなわち厚、薄肉部の境界上に正降伏線が結節する。耐力は、厚肉帯版列数が増加しても微増する程度である。またOW3とOW4について、結節点を厚肉帯版の外側縁とした場合の耐力を図中に併せて示したが、正解値との差は僅少である。

4.2 降伏線形成時の正降伏線結節点の変動と終局耐力の推移

前節の、厚肉帯版列数を1～4と変化させた計算例において、厚肉帯版3、4列の場合の正降伏線の結節点は、外側の厚肉部内に形成されていたが、この結節点の形成と耐力変遷の様相を、日型と目型変厚版を例として取り上げ、詳しく詳細に検討してみる。

(1) 日型変厚版

図14は、厚肉部幅比 $\mu (B/\ell)$ を0.3～0.75と変化させた正方形日型変厚版の場合の、正降伏線結節点の変動

図13 厚肉帯版にの列数による耐力比較

図14 日型版の厚肉幅による結節点と耐力の変動

と耐力の推移を示したものである。 $\mu \leq 0.3$ では、結節点は厚肉部外側縁にあるが、 μ が大きくなるに従い、結節点は厚肉部の中央へと移動してくる。図中には、結節点が全て厚肉部外側とした場合の耐力を、参考までに点線で示した。また、長方形日型変厚版の場合では、厚肉部と薄肉部の境界に結節点が生ずるのは、厚肉部の幅がほぼ $0.3 \lambda \ell$ のときである。なお、配筋は薄肉部で縦横 $10 \phi @ 200 \text{ mm}$ 、厚肉部の主筋方向は $10 \phi @ 100 \text{ mm}$ で、いずれも複配筋とした。

(2) 目型変厚版

図15は、図中に示した寸法諸元をもつ目型変厚版について、辺長比 λ を変動させた場合の、正降伏線結節点の変動と、耐力の推移を調べたものであり、終局耐力の真の値と、結節点が厚肉部の外縁に生ずると仮定した値を対比して示した。この図でわかるように、両者の違いは殆どなく、最も差違の大きい $\lambda = 1$ のときでも、その差は2%程度と微小である。

また図中に、この目型変厚版を、鉄筋量が同一な同体積平版と見做したときの耐力を破線で示した。この図によると、正方形版に近い場合は、目型版の耐力が僅かに大きい程度で、両者間に差程の違いはないが、辺長比 λ が大きくなるに従って双方の差違は大きくなり、目型変

図15 目型版の辺長比による結節点と耐力の変動

厚版は、同体積平版に比べて耐力的に優れていることがわかる。終局時の版中央点たわみは λ の如何に拘わらず、同体積平版は約12cmもの大きな値となるが、目型変厚版では6 cmほどで、変形的にも有利な構造であると云える。なお配筋は図12のOW2と同様に、薄肉部を $13 \phi @ 150$ 縦横複配筋とし、厚肉部はOW2の厚肉部の鉄筋比と同一にした。

4.3 目型変厚版の変形耐力性状

(1) モデル床版の概要

比較計算用のモデル床版は、短辺長5mの長方形目型変厚版で、表5に示すように各部の寸法を変え、4系列に分類した。すなわち第1系列は、厚肉部幅Bと薄肉部版厚dを一定にして、厚肉部版厚Dのみを変化させたもので、この第1系列の3種類の版に対して有限積層要素法による弾塑性解を求め、降伏線理論値と比較した。第2系列は、厚肉部の断面 $B \times D$ を一定にして、薄肉部版厚dを変えたもので、第3系列は薄肉部、厚肉部ともそれぞれ版厚一定で、厚肉部幅Bのみ変動させたものであり、第1～第3系列いずれのモデル床版も、辺長比 λ は2.2とした。第4系列は、第一系列の $Mb\beta-2$ の辺長比を変動させたものである。これら9種類のモデル床版のうち、第1系列の $Mb\beta-2$ を基準モデル版に設定し、その配筋を図16に示した。ほかのモデル床版の配筋は、薄肉部で鉄筋間隔を、厚肉部は鉄筋本数を、それぞれ $Mb\beta-2$ と同一にした。

なお、表5中の第1系列の目型版については、次項で、それと同体積平版の変形・耐力性状と比較するため、各目型変厚版の平均版厚 d_e と、スパン・版厚比 ℓ/d_e を併記した。

(2) 降伏線理論解と弾塑性解の比較

図17は、表5のモデル床版のうち、第1系列の目型版について、降伏線理論による終局耐力と有限積層要素法による弾塑性解^{5),6)}を比較したものであり、降伏線理論解の線上には、式(23)による最大荷重時の版中央点たわみの値を Δ 印で示した。弾塑性解は、平面分割を図中に

表5 モデル目型変厚版の諸寸法

系 列	符 号	厚肉部幅		版 厚		辺長比 λ
		B (m)	μ	D (cm)	d (cm)	
1	Mb β -1	100	0.20	24	12	2.2
	Mb β -2			27		
	Mb β -3			30		
2	Mb α -2	75	0.15	27	10	2.7
	Mb γ -2				14	1.93
3	Ma β -2	125	0.25	27	12	2.25
	Mc β -2	100	0.20			2.25
4	Mb β -2	100	0.20	27	12	1.7
	Mb β -2					2.7

註: ℓ は全て 5 m

図16 Mb β-2の配筋詳細 (単位mm)

図17 降伏線理論解と弾塑性解の比較 (第1系列)

掲げる形状とした。

この図によると、両解析値は終局耐力および最大荷重時の版中央点たわみとも、よく近似している。また、目型変厚版と鉄筋量およびコンクリートを同体積な平版とした場合の解析結果を、図中に併記して比較した。同体積平版は目型版に比べて耐力低下が著しく、かつ最大荷重時の版中央点たわみは相当増大している。

図18 厚肉部版厚Dの変動に伴う目型版と同体積平版の耐力の推移

第1系列				
	軸力	鉄筋	自重項	
Mb β-1 24	69.9	30.3	-0.2	
Mb β-2 27	71.3	28.9	-0.2	
Mb β-3 30	72.7	27.5	-0.2	
(a) 軸力・鉄筋別				
	厚肉	薄肉		
Mb β-1 24	46.5	53.7	-0.2	
Mb β-2 27	51.8	48.4	-0.2	
Mb β-3 30	56.2	44.0	-0.2	
(b) 厚肉・薄肉別				
	短辺x	長辺y		
Mb β-1 24	79.1	21.1	-0.2	
Mb β-2 27	81.5	18.7	-0.2	
Mb β-3 30	83.3	16.9	-0.2	
(c) 方向別				
D (cm)	w (lf/m²)			
0	2	4	6	

図19 厚肉部版厚Dの変動による目型版の耐力分担率 (%)

図18は、変厚比D/dの変化による耐力の推移を、同体積平版の場合と対比して示したものであり、図中に両者の耐力比を鎖線で表わし、また参考までに、圧縮膜力を考慮しない所謂Johansen値を点線で示した。

この図で見るように、目型変厚版の耐力は、同体積平版に比べてD/d=2.0で約1.25倍、D/d=2.5で約1.36倍になっており、目型変厚版は、平版に比べて耐力的に有利なスラブであることがわかる。なおJohansen値は、圧縮膜力を考慮した終局耐力の50~60%ほどであり、過小な評価となっている。

図19は、第1系列の各目型版について、終局耐力に寄与するコンクリートの軸力効果と鉄筋の曲げ効果の割合ならびに厚肉部と薄肉部別や、方向別の耐力の分担割合を調べたものである。終局耐力の中で、コンクリートによる軸力効果で分担する割合は、約70%にも達する大きな値を示しており、また厚肉部に負担する耐荷力は、厚肉部の版厚を増すほど上昇し、それに伴い、短辺方向の分担する耐荷力も増大している。

(3) 薄肉部版厚dの変動による耐力比較

厚肉部の版厚Dと幅B(=uℓ)を一定にして、薄肉部版厚dのみ変化させた第2系列の目型変厚版について、

第2系列				
	軸力	鉄筋	自重項	
Mb α-2 10	69.7	30.6	-0.3	
Mb β-2 12	71.3	28.9	-0.2	
Mb γ-2 14	73.5	26.6	-0.1	
(a) 軸力・鉄筋別				
	厚肉	薄肉		
Mb α-2 10	65.2	35.1	-0.3	
Mb β-2 12	51.8	48.4	-0.2	
Mb γ-2 14	41.2	58.9	-0.1	
(b) 厚肉・薄肉別				
	短辺x	長辺y		
Mb α-2 10	85.6	14.7	-0.3	
Mb β-2 12	81.5	18.7	-0.2	
Mb γ-2 14	77.9	22.2	-0.1	
(c) 方向別				
d (cm)	w (lf/m²)			
0	2	4	6	

図20 薄肉部版厚dの変動による目型版の耐力分担率 (%)

終局耐力に寄与する諸応力の様相を図20に示す。コンクリートの軸力効果で負担する耐荷力は、鉄筋の曲げ効果による値に比べて圧倒的に高く、第1系列の場合と同様に、その耐荷力は、全耐荷力の70%前後の値を示している。

この系列のスラブは、厚肉部の断面が同一であるから、理論上、厚肉部で負担する耐荷力は図20(b)のように等しい値となるが、変厚床版は、偏平な小梁状の厚肉部分と、それに取りつく薄肉部分が一体となって挙動する床組構造であるため、厚肉部の断面が同一であっても、薄肉部の版厚が増大するに従い、床組構造全体としての耐荷力が上昇することになる。

(4) 厚肉部幅・スパン比 μ の変動による耐力比較

図21は、薄肉部と厚肉部の版厚をそれぞれ一定にして、厚肉部幅・スパン比 μ のみを0.15から0.25（厚肉部幅 $B=75\text{cm}\sim 125\text{cm}$ ）まで変動させた第3系列の目型変厚版について、耐力の推移を示したものであるが、厚肉部幅を75cmから125cmに広げると、耐力は12%ほど増大する。図22は、その耐荷力を、軸力・鉄筋別、薄肉・厚肉部別、および方向別の各要素に分離して、厚肉部幅比 μ の変動によるその要素ごとの耐力推移を示したものである。なお前項までの第1、第2系列では、各要素ごとの耐力を棒グラフで表示してその分担率を記したが、この第3系列については耐力値で図示した。

厚肉部の幅を増大させた場合、鉄筋又は薄肉部分で負担する値には差程変化はないが、コンクリートの軸力で負担する耐荷力、あるいは厚肉部分で負担する耐荷力は上昇している。

また図21には、 $\mu=0.2$ の目型版について、厚肉部の版厚と体積および鉄筋を同一にした見做し日型変厚版、および田型変厚版の耐力を併記して比較したが、同体積田型版ではほぼ同耐力となり、同体積日型版では耐力が4%減程度で、目型・田型・日型各変厚版の耐力差は僅少である。なお同体積平版にすると、図示のように目型版より約23%耐力が低下している。

(5) 辺長比 λ の変動による耐力比較

図23に、辺長比 λ を1.7から2.7まで変動させた第4系列の目型変厚版の耐力推移を示した。 λ が大きくなる

図21 厚肉部幅・スパン比 μ の変動に伴う目型版の耐力の推移

と、単位面積当りの耐荷力 W は減少するが、版全体としての耐荷力 P の変動幅は小さい。

各要素別の耐力分担率を描いた図24によると、 λ が変化しても各要素ごとの分担割合はほぼ同一であり、軸力と鉄筋で約7:3、薄肉部と厚肉部で約1:1、短辺方向と長辺方向では約8:2の分担割合となっている。

(6) 最大荷重時の版中央点たわみと耐力との関係

図25に、ほかの諸寸法を一定とし、厚肉部版厚 D 、薄肉部版厚 d 、又は厚肉部幅 B のみを変動させた系列1～3の版型について、終局耐力と最大荷重時の版中央点たわみ Δ の関係を示したが、構造要素中の厚肉部版厚 D 、薄肉部版厚 d 、又は厚肉部幅 B それぞれの違いによって、変形と耐力の推移に明瞭な差違が現われている。

図22 μ の変動に伴う目型版の要素別耐力分担の推移

図23 辺長比 λ の変動に伴う目型版の耐力の推移

図24 辺長比 λ の変動による目型版の耐力分担率(%)

図25 最大荷重時の版中央点たわみと終局耐力の関係

すなわち、図中の第1系列では、厚肉部の版厚 D の違いによって、変形、耐力とも大きく異なっており、一方第2系列のように、薄肉部の版厚を変動させた場合は、 Δ 値が一定であっても、耐力差は、 D を変化させた第1系列よりさらに大きくなる。また、第3系列のように厚肉部幅を変化させた場合は、第1、第2系列に比べて終局耐力への影響は少いことがわかる。

5 おわりに

本報告では、一方向に厚肉帯版をもつ床スラブの代表例として、ほぼ周辺固定正方形目型変厚版の、6点集中荷重による破壊実験を行い、変形と耐力の降伏線理論による計算値が、実験値に精度よく適合することを検証した。次に、厚肉帯版を短辺方向に1乃至4列に配置した厚肉部の版厚が同一で、かつ厚肉部幅の合計が等しい目型変厚モデル版を用いた比較計算により、正降伏線結節点の移動と耐力変動の様相の概要を知ることができた。また、日型と目型変厚版を例としてとりあげ、結節点の変動と耐力の関連について、少しく詳細に検討を加えた。

さらに、目型変厚版を代表例に選び、厚肉部と薄肉部の版厚、厚肉部幅、および辺長比をそれぞれ変動させた4つの系列に対して、変形・耐力特性を包括的に比較論考し、あわせて、厚肉部の版厚と体積を目型変厚版と同一にした日型と田型変厚版、ならびに目型変厚版と同体積の平板との変形・耐力性状を比較して、目型変厚版とほかの床版との相違点、又は類似点を詳らかにした。特に、各種変厚版と同体積平板間の剛性、および耐力に大きな差異のあることを判然と知り得た。

さらにまた、各種周辺固定の目型変厚版と、その見做し平板を例として、降伏線理論解との比較のために求めた有限積層要素法による弾塑性解は、終局耐力ならびに最大荷重時の版中央点たわみとも、降伏線理論解に極めてよく近似することを明らかにすることができた。

なお実際の床スラブは、以上に述べてきた周辺固定版とは異なり、ラーメンに組み込まれて固定度が緩んだ状態にあるが、ス様な床スラブの終局耐力に関する解析的

・実験的研究は定性的な段階にあり、定量的には国内外において殆ど手がけられておらず、未解明の現状にある。筆者らは先に、周辺の拘束状態を系統的に変化させた各種平板の破壊実験を行い、これらの版が周辺固定状態にある時の、Johansen法をはじめとする種々な解析法による終局耐力と実験値との適応性について検討した。⁷⁾

その結果を一般的に言えば、周辺の拘束度が緩んだ床スラブの終局耐力は、筆者らの提案する圧縮膜力を考慮した周辺固定時の降伏線理論値と、Johansen法によって求めた値との間にある。すなわち、梁・柱の断面を、我が国で用いられている寸法程度とし、床スラブ厚とその配筋を当学会規準に倣った場合の、床スラブの設置部位別の終局耐力は、周辺固定時の圧縮膜力考慮の降伏線理論解を基準にすると、建物外廻りの隅角部で65～75%、その中間版で70～80%、建物中央部では85～90%程度になる。

しかし上述のように、ラーメン架構内にある床スラブ耐力の定性的な傾向を知ることはできたが、変厚版をも含めて、周辺の拘束度が緩んだ場合の耐力については、未だ定量的に評価しうるまでには至っていない。因って本報告は、周辺の拘束状態を勘案した弾塑性解析を行うための一つの基礎的研究として、周辺固定時の、一方向に厚肉帯版を有する変厚床スラブの終局耐力について述べたものである。

参考文献

- 1) 坂尻公也、日野正熙、土橋由造：周辺拘束方形鉄筋コンクリート床スラブの終局強度について、日本建築学会構造系論文報告集、第403号、PP. 57～65、1989. 9
- 2) 坂尻公也、日野正熙、土橋由造：周辺を拘束したR/C目型変厚床スラブの終局耐力について、日本建築学会構造系論文報告集、第434号、PP. 107～116、1992. 4
- 3) 坂尻公也、川治正則、内山武司、土橋由造：周辺を拘束した格子状の厚肉部を有するR/C変厚床スラブの終局耐力について、日本建築学会構造系論文集、第459号、PP. 121～130、1994. 5
- 4) 川治正則、坂尻公也、土橋由造：周辺を拘束したR/C田型変厚床スラブの終局耐力について、日本建築学会構造系論文集、第460号、PP. 93～102、1994. 6
- 5) 上田正生、土橋由造：鉄筋コンクリート床版の非線形解析、日本建築学会論文報告集、第283号、PP. 26～36、1979. 9
- 6) 土橋由造、上田正生：周辺を拘束したR/C床版の圧縮膜効果について、日本建築学会論文報告集、第296号、PP. 67～76、1980. 10
- 7) 日野正熙、坂尻公也、土橋由造：ラーメン架構内にあるR/C床スラブの設置部位別の終局耐力について、日本建築学会構造系論文報告集、第455号、PP. 115～125、1993. 3

(1995年8月14日原稿受理、1996年2月8日採用決定)