

I. まえがき

先に 著者は、鉄筋コンクリート桁の弾塑性曲げおよび破壊に関する解析理論を提示したが、本論文では、さらに同理論を応用拡張して点集中荷重を受ける単純はり曲げおよびせん断破壊について考察したものである。

II. 理論

本法の主な仮定を挙げると次のとおりである。

- i) コンクリートおよび鉄筋の応力-ひずみ曲線を図-1(a)および(b)のように理想化する。
- ii) コンクリートの亀裂は、引張ひずみ ϵ_A で生じる。
- iii) 亀裂が発生する以前のひずみ分布は、平面保持の法則に従うが、発生後は、図-2のようにくし歯の変形が添加されて平面保持の法則は成立しなくなる。

以上の仮定に基づいて、図-3の鉄筋コンクリート桁を対象に内力と外力のつり合い式を求めれば、次式がえられる。

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & -d_k h \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M \\ N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \int_0^h \sigma_c dA_c + \sum \sigma_s A_s \\ - \int_0^h \sigma_c y dA_c - \sum \sigma_s y_s A_s \end{bmatrix} \quad (1)$$

ただし、 M, N : モメントおよび軸力、 σ_c, σ_s : コンクリートおよび鉄筋の応力、 $d_k h$: 圆心の深さ、 h : 桁高、 y_s : 鉄筋の位置、 A : 面積、断面の深さ y_k での応力 σ_{jk} ($j=s$ or c) は、寸断(1)から

$$\sigma_{jk} = \nu_{jk} (\epsilon_{jk} - \epsilon_{jk}^*) \quad k=1, 2, \dots, n+1 \quad (2)$$

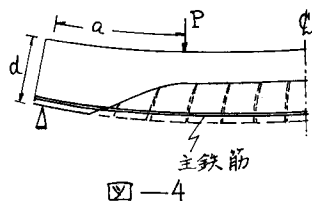
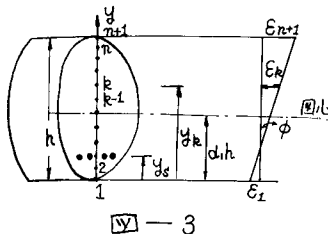
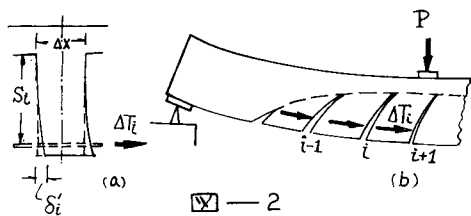
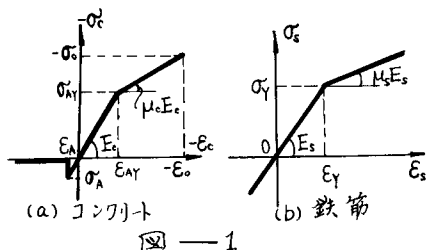
$$\text{ここに } \epsilon_{jk} = (1 - y_k/h) \epsilon_{j1} + (y_k/h) \epsilon_{jn+1} \quad (3)$$

$$\nu_{jk} \text{ は曲率 } \phi \text{ は、 } \phi = (\epsilon_{c1} - \epsilon_{cn+1})/h \quad (4)$$

式(1)に、式(2)(3)を代入して $\epsilon_{c1}, \epsilon_{cn+1}$ で解き、その結果を式(4)に代入すれば、結局 ϕ は、次のような M と N の1次関数形で表すことができる。 $\phi = \eta M + \xi N + \zeta$, η, ξ, ζ : 断面形と応力状態において定数量。 --- (5)

さて、単純はりでは、一般に荷重の増加に伴って曲げ亀裂が発生増大し、桁自身は、漸次図-2(b)のようなくし状に移行する²⁾。このとき歯部は、鉄筋張力差 ΔT を受けて曲げ変形を生じ、その結果同断面のひずみ ϵ_{sc} には、歯部のたわみの影響量 ϵ_{sc}^* が付加される。例えば、右端目の下部鉄筋の位置における値は、

$$\epsilon_{sc}^0 = \frac{\delta_c}{dx} = \left(\frac{\Delta T_c S_{c1}^3}{3 E_c I_{c1}} - \frac{\Delta T_c S_{c1}^3}{3 E_c I_c} \right) \cdot \frac{1}{\Delta x} \quad (6)$$



したがって S_e は有効亀裂長 (鉄筋からの亀裂深さ),

$\Delta T_i = T_{i+1} - T_i$, T_i は i 番目の鉄筋張力,

T_i は i 番目の断面部の 2 次モーメント.

この場合、面の固定端部には引張応力が発生する。

したがって、最終的には、この端部に曲げ亀裂が入り、桁は図-4に示すような一種のタイトア-4構造に移行後崩壊する (せん断ア-4比 $a/d \geq 2.5$ の場合)。

この判定条件を、本法では $\sigma_c = (\Delta T_i \pm \Delta X) / 2 T_i \leq \sigma_n$ とした。

III. 解法

図-5に示す鉄筋コンクリート単純はりの解析を補正エネルギー法によって行なう。すなわち

曲げモーメントは

$$M = (P + \frac{1}{2} \bar{P}) X, \quad (A \sim C)$$

$$M = P a + \frac{1}{2} \bar{P} X, \quad (C \sim D)$$

で与えられ、このとき与えられる補正エネルギーは、 $U = \int \phi dM dx$ となるから、中央点 D のため δ_0 を求めたい場合は、

$$\delta_0 = (\partial U / \partial P)_{P=0} = \int \phi \frac{\partial M}{\partial P} dx = 2 \int_0^{\frac{l}{2}} \phi \left(\frac{x}{2} \right) dx$$

他の変形量も同様に計算できる。

IV 計算例

1) 図-6に示す矩形断面単純はりについて応力解析を行なった。その諸量は、桁有効高さ $d = 27 \text{ cm}$, $l = 300 \text{ cm}$,

コンクリートの破壊強度 $\sigma_c = 250 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_n = 0.150\%$, $\epsilon_0 = 1.419 \times 10^{-3}$, $\mu_c = 0.5$

$E_c = 2.674 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$, $E_s = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$, $A_s/A_c = 0.0188$, $y_s = 3 \text{ cm}$

$E_A = 0.1 \epsilon_0$, $E_{A1} = 0.5 \epsilon_0$, $\sigma_{A1} = 0.75 \sigma_c$, $\sigma_{A2} = 3571 \text{ kg/cm}^2$ である。

解析結果の一部を図-7、図-8に示し、さらに Kani の実験結果²⁾との比較を図-9に示す。これより、本法は、実験値とよく合致することが確認できる。

1) 図-10に示す T 形断面のせん断破壊 ($a/d = 2.8$, $A_s/A_c = 0.017$, $\sigma_c = 353 \text{ kg/cm}^2$, $\epsilon_0 = 1.419 \times 10^{-3}$, その他の諸量は 1) と同じ) について解析を行ない、断面形状のせん断応力強度に及ぼす影響について考察を加えた。結果は次のようになる。

1) 矩形断面: 破壊荷重 $R_R = 3082 \text{ kg}$, せん断応力強度 $\tau_{ca} = P_R / bd = 7.610 \text{ kg/cm}^2$

2) T-1 断面: " = 1645 kg, " = 7.614 kg/cm²

3) T-2 断面: " = 1650.5 kg, " = 7.641 kg/cm²

以上から、断面形状の平均せん断応力強度に及ぼす影響は、小さいことが理論的に確認できる。

(文献) 1) 山崎、太田: Proc. of the Symposium on Ultimate Strength of Structures and Their Components, 16th N.S. on B.S.E., Septem. 1977.

2) G.N. Kani: Jour. of the A.C.I., Apr. 1964, 3) 太田、藤原: Proc. of the 14th J.C. on Materials Research, 1977.

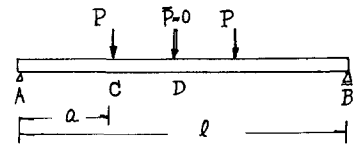


図-5

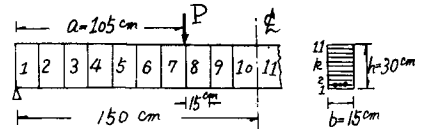


図-6

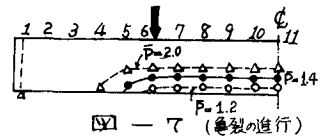


図-7 (亀裂の進行)

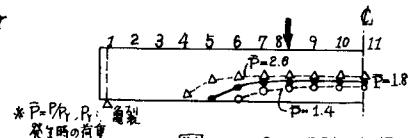


図-8 (亀裂の進行)

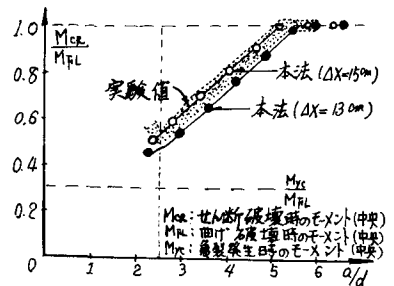
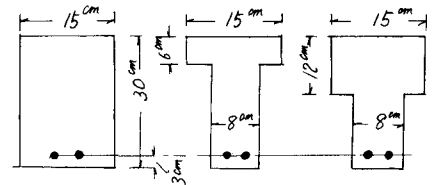


図-9



1) 矩形断面 2) T-1 断面 3) T-2 断面
図-10