

포복효과를 고려한 보강된 콘크리트판구조의 해석

조류경, 리희균

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《이미 일정한 토대가 있고 전망이 확고한 연구대상들에 힘을 넣어 세계패권을 쥐며 그 성과를 확대하는 방법으로 과학기술을 빨리 발전시켜야 합니다.》(《조선로동당 제7차대회에서 한 중앙위원회사업총화보고》 단행본 39페이지)

보강된 콘크리트판구조는 포복특성으로 하여 고정하중이 장기적으로 작용하는 경영단계에서 처짐이 증가하며 자름면내에서 철근과 콘크리트사이에서는 응력재분배가 일어난다.

이러한 현상과 콘크리트의 수축, 온도영향의 결합으로 하여 판에는 균열들이 생기거나 지나친 처짐이 생기면서 구조물의 정상적인 운영에 영향을 주고 결국 구조안전성이 저하된다. 그러므로 경간이 큰 보강된 콘크리트판구조의 포복효과를 연구하는것은 실천적으로 중요하다.

논문에서는 포복변형특성이 서로 다른 두가지 재료로 구성된 복합재료구조인 철근콘크리트판의 내력과 처짐계산방법에 대하여 논의한다.

먼저 콘크리트와 철근에서 응력과 구부림모멘트에 대하여 보자. 철근콘크리트판의 포복효과를 분석하기 위하여 계산에 편리하게 다음과 같은 몇가지 가정을 주자.

- ① 임의의 자름면에서 콘크리트의 탄성응력과 탄성변형은 선형관계가 성립된다.
- ② 콘크리트는 등질이며 등방성을 가진다.
- ③ 철근콘크리트판의 처짐은 매우 작다.
- ④ 판의 구부림에서 평단면유지가정이 성립된다.
- ⑤ 철근과 콘크리트는 완전히 부착된것으로 본다.
- ⑥ 포복변형은 선형성을 가지며 볼츠만중첩원리가 성립된다.

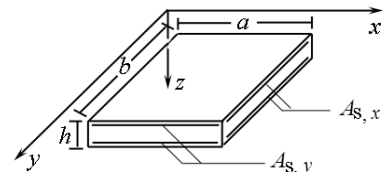


그림. 철근콘크리트판에서
자리표계의 선택

복합재료배근을 고려하여 자리표계를 그림과 같이 설정한다. 그림에서 $A_{s, x}$, $A_{s, y}$ 는 각각 x 축과 y 축에 수직으로 배근된 철근이다.

시간에 따르는 변화를 보기 위하여 유효결수법을 리용한 모형으로 계산된 t_0 시각 x 방향과 y 방향에서 응력에 대한 콘크리트의 변형은 다음과 같다.[1-3]

$$\begin{aligned} \varepsilon_{c, x}(t, t_0) = & [\sigma_{c, x}(t_0) - \mu\sigma_{c, y}(t_0)]/E_c \cdot [1 + \varphi(t, t_0)] + \\ & + \frac{[\sigma_{c, x}(t) - \mu\sigma_{c, y}(t)] - [\sigma_{c, x}(t_0) - \mu\sigma_{c, y}(t_0)]}{E_c} [1 + \chi(t, t_0)\varphi(t, t_0)] \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{c, y}(t, t_0) = & [\sigma_{c, y}(t_0) - \mu\sigma_{c, x}(t_0)]/E_c \cdot [1 + \varphi(t, t_0)] + \\ & + \frac{[\sigma_{c, y}(t) - \mu\sigma_{c, x}(t)] - [\sigma_{c, y}(t_0) - \mu\sigma_{c, x}(t_0)]}{E_c} [1 + \chi(t, t_0)\varphi(t, t_0)] \end{aligned} \quad (2)$$

$$\gamma_{x, y}(t, t_0) = \gamma_{x, y}(t) [1 + \varphi(t, t_0)] + [\tau_{x, y}(t) - \tau_{x, y}(t_0)]/G \cdot [1 + \chi(t, t_0)\varphi(t, t_0)] \quad (3)$$

여기서 E_c 는 콘크리트의 탄성계수, μ 는 뺄셈계수, $\varphi(t, t_0) = \varphi(t_0)[1 - e^{-\gamma(t-t_0)}]$ 은 t_0 시각에 하중이 작용하였을 때의 t 시각 콘크리트의 포복계수, $\varphi(t_0) = C_0 + A_0/t_0$, $\gamma = 0.026 \sim 0.030$, $C_0 = (0.900 \sim 0.975) \times 10^{-5}$, $A_0 = (4.62 \sim 4.82) \times 10^{-5}$ 이며 $\chi(t, t_0) \approx 0.82$ 는 t_0 시각에 하중작용 때 t 시각 콘크리트의 로화계수($0.6 \sim 0.9$ 인데 일반적으로 0.82)이다.

식 (1)–(3)으로부터 콘크리트의 응력에 대한 식을 구하고 변형성분들과 t 시각 얇은판의 처짐사이관계식을 대입하면 콘크리트의 응력은 처짐으로 다음과 같이 표시된다.

$$\begin{aligned}\sigma_{c, x}(t) &= \frac{E_\varphi}{1 - \mu^2} \left[\frac{\partial^2 w(x, y, t)}{\partial x^2} - k(t, t_0) \varphi(t, t_0) \frac{\partial^2 w(x, y, t_0)}{\partial x^2} \right] + \\ &\quad + \mu \left[\frac{\partial^2 w(x, y, t)}{\partial y^2} - k(t, t_0) \varphi(t, t_0) \frac{\partial^2 w(x, y, t_0)}{\partial y^2} \right] \\ \sigma_{c, y}(t) &= \frac{E_\varphi}{1 - \mu^2} \left[\frac{\partial^2 w(x, y, t)}{\partial y^2} - k(t, t_0) \varphi(t, t_0) \frac{\partial^2 w(x, y, t_0)}{\partial y^2} \right] + \\ &\quad + \mu \left[\frac{\partial^2 w(x, y, t)}{\partial x^2} - k(t, t_0) \varphi(t, t_0) \frac{\partial^2 w(x, y, t_0)}{\partial x^2} \right] \\ \tau_{c, xy} &= G_\varphi \left[\frac{\partial^2 w(x, y, t)}{\partial x \partial y} - k(t, t_0) \varphi(t, t_0) \frac{\partial^2 w(x, y, t_0)}{\partial x \partial y} \right]\end{aligned}$$

판에서 구부림모멘트와 틀음모멘트는 포복을 고려할 때 다음과 같다.

$$\begin{aligned}M_{c, x}(t) &= D_\varphi \left[\frac{\partial^2 w(x, y, t)}{\partial x^2} - k(t, t_0) \varphi(t, t_0) \frac{\partial^2 w(x, y, t_0)}{\partial x^2} \right] + \\ &\quad + \mu \left[\frac{\partial^2 w(x, y, t)}{\partial y^2} - k(t, t_0) \varphi(t, t_0) \frac{\partial^2 w(x, y, t_0)}{\partial y^2} \right] \\ M_{c, y}(t) &= D_\varphi \left[\frac{\partial^2 w(x, y, t)}{\partial y^2} - k(t, t_0) \varphi(t, t_0) \frac{\partial^2 w(x, y, t_0)}{\partial y^2} \right] + \\ &\quad + \mu \left[\frac{\partial^2 w(x, y, t)}{\partial x^2} - k(t, t_0) \varphi(t, t_0) \frac{\partial^2 w(x, y, t_0)}{\partial x^2} \right] \\ M_{c, xy} &= -(1 - \mu) D_\varphi \left[\frac{\partial^2 w(x, y, t)}{\partial x \partial y} - k(t, t_0) \varphi(t, t_0) \frac{\partial^2 w(x, y, t_0)}{\partial x \partial y} \right]\end{aligned}$$

철근은 철근방향응력만 고려하므로 $\tau_{xy} = 0$, $\gamma_{xy} = 0$ 이다.

철근과 콘크리트는 완전부착되었으므로 철근이 있는 위치에서 철근과 콘크리트의 변형은 동일하다. 즉 $\varepsilon_{c, x}(t) = \varepsilon_{s, x}(t, t_0)$, $\varepsilon_{c, y}(t) = \varepsilon_{s, y}(t, t_0)$ 이다.

따라서 t 시각 철근의 응력과 철근망의 구부림모멘트는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\sigma_{s, x}(t) &= \varepsilon_{s, x}(t, t_0) E_s = -Z_{s, x} E_s \frac{\partial^2 w(t)}{\partial x^2}, \quad \sigma_{s, y}(t) = \varepsilon_{s, y}(t, t_0) E_s = -Z_{s, y} E_s \frac{\partial^2 w(t)}{\partial y^2} \\ M_{s, x} &= A_{s, x} \sigma_{s, x}(t) Z_{s, x} = -A_{s, x} Z_{s, x}^2 E_s \frac{\partial^2 w(t)}{\partial x^2}, \quad M_{s, y} = A_{s, y} \sigma_{s, y}(t) Z_{s, y} = -A_{s, y} Z_{s, y}^2 E_s \frac{\partial^2 w(t)}{\partial y^2}\end{aligned}$$

여기서 E_s 는 철근의 탄성계수, $Z_{s, x}$ 는 x 방향으로 자름면에서 철근중심으로부터 자름면중심까지의 거리, $Z_{s, y}$ 는 y 방향으로 자름면에서 철근중심으로부터 자름면중심까지의 거리, $A_{s, x} = \rho_x h$, $A_{s, y} = \rho_y h$ 는 단위너비당 철근의 자름면면적, ρ_x, ρ_y 는 자름면에서 철근의 배근비이다.

다음으로 철근콘크리트판에서 포복에 의한 처짐에 대하여 계산하자.

판에서 포복을 고려하는 모멘트항들은

$$M_x = M_{c, x} + M_{s, x}, \quad M_y = M_{c, y} + M_{s, y}, \quad M_{xy} = M_{c, xy}$$

이므로 균형방정식은 $\frac{\partial^2 [M_{c, x}(t) + M_{s, x}(t)]}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 M_{c, xy}(t)}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 [M_{c, y}(t) + M_{s, y}(t)]}{\partial y^2} = -q_0$ 과 같다.

철근콘크리트판의 탄성곡면의 미분방정식은

$$D_1 \frac{\partial^4 w(x, y, t)}{\partial x^4} + 2D_3 \frac{\partial^4 w(x, y, t)}{\partial x^2 \partial y^2} + D_2 \frac{\partial^4 w(x, y, t)}{\partial y^4} = \xi q_0$$

이다. 이것은 포복을 고려하는 경우에 처짐과 응력을 결정할수 있는 식이다.

4개의 면이 지지된 판에 분포하중이 작용할 때 처짐을 계산하자.

콘크리트판에 자중과 고정하중이 동시에 작용하면 5년후 그것의 포복계수는 2.0이다.

$a \times b = 8\text{m} \times 8\text{m}$, $h = 230\text{mm}$, $E_c = 3.0 \times 10^4 \text{MPa}$, 뽀뽀비 $\mu = 0.2$, $E_s = 2.1 \times 10^5 \text{MPa}$, 자중 5.29kN/m^2 , 고정하중 2.5kN/m^2 이고 자호가 C30인 논문에서 제기한 철근속박한 콘크리트판의 처짐 $w(x, y, t)$ 를 삼각함수로 표시하고 q_0 을 $\sin \frac{m\pi}{a} x$ 형식의 푸리에함렬전개식으로 전개한 다음 t 시각에 판의 처짐을 계산한 결과 판가로방향에서 최대처짐은 하중작용시보다 5년후에 포복계수가 1.88로 되었다.

참 고 문 헌

- [1] 리영섭; 포복리론, 김일성종합대학출판사, 20~30, 주체102(2013).
- [2] R. Balevicius; Inter. J. Appl. Mech. Eng., 10, 1, 7, 2005.
- [3] Hu Di; Engineering Mechanics, 23, 6, 120, 2016.

주체107(2018)년 6월 5일 원고접수

Analysis of Creep Effect on Reinforced Concrete Plate

Jo Ryu Gyong, Ri Hui Gyun

In this paper, we analyzed the creep effect on rectangular thin reinforced concrete plates according to the elastic theory of a thin plate and the idea of age-adjusted modulus method.

We calculated the deflection of the plate and stresses of concrete and steel at any time.

Key words: creep effect, reinforced concrete plate