

V-136

コンクリート床板のひび割れに対する使用性について

信州大学工学部 正員 小山 健

1. はじめに

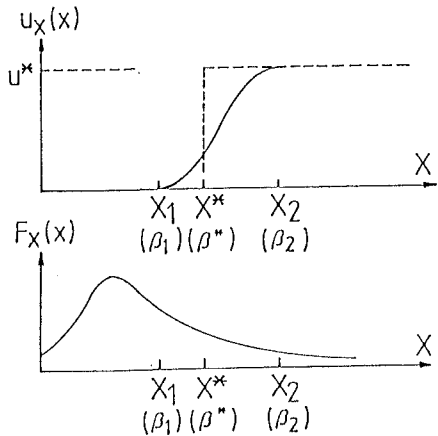
構造物の設計において規定される限界状態は一般に(1)終局限界状態, (2)使用限界状態, (3)疲労限界状態と大別できる¹⁾。本研究はReid等²⁾の手法を応用してコンクリート床板のひび割れに対する使用性を信頼性に基づいて評価しようとするものである。ここでの使用性は、床板のひびわれ幅を対象としているが、使用性を機能としてとらえた場合、その機能が有用である状態から無用な状態に移行するとき、その機能の相対的効用の大きさを測ることで使用性の評価とした。

2. 使用性指標とその最適化

効用関数をFig.1のように仮定し、ひび割れ幅 X の仮の限界状態を X^* とした場合、全期待効用と限界状態に対する効用が等しいとした使用性指標 β は、

$$\beta = \Phi^{-1} \left(\frac{2}{(\beta_2 - \beta_1)^2} (A_1 + A_2 - B_1 - B_2) \right) \quad (1)$$

となる。ここで、 $A_1 = (1 + \beta_1^2) \Phi(\beta_1) + \beta_1 \phi(\beta_1)$, $A_2 = (\beta_1 + \beta_2^2) \Phi(\beta_2) + \beta_2 \phi(\beta_2)$, $B_1 = (2 + (\beta_1 + \beta_2)^2/2) \Phi((\beta_1 + \beta_2)/2)$, $B_2 = (\beta_1 + \beta_2) \phi((\beta_1 + \beta_2)/2)$ である。この使用性指標 β は経済的に見た場合必ずしも最適なものとなっていないので、ここでは総費用最小化の原理 $dC_x/d\beta = 0$ に基づいて最適化を行ない、式(1)の β に一致するような設計点を求め、そのときの β を最適使用性指標とする。

Fig.1 Utility and Density Function of X

3. コンクリート床板の例

一般に、コンクリート構造物の設計を行なう場合には、使用状態の荷重作用によってコンクリートに生じるひび割れの幅や深さがある限度以下となるように、コンクリートの配合、部材断面の形状寸法、鋼材の種類、寸法配置などを定めることが必要であるとされている³⁾。過大なひび割れは、コンクリート中の鉄筋の腐蝕の原因になるとともに、気密性および水密性が要求される構造物にとって不都合であるだけでなく、美観的にも悪いものとなる。したがって、コンクリート部材を設計する場合には使用限界状態のひとつとして以下のようなひび割れ限界状態に対して検討を行なうことにしている⁴⁾。

(1)引張応力を生ずる限界状態, (2)ひび割れ発生の限界状態, (3)ひび割れ幅の限界状態。本研究では特に(3)ひび割れ幅の限界状態について、コンクリート床板を対象として、最適な使用性限界をもとめるものである。ひび割れ幅の算定式は、各国で種々のものが提案されているが、ここでは、かぶり厚を30mmとした場合の限界ひび割れ幅を表わすものとして、次のような式を用いることとする⁴⁾。

$$W_k = 33.0 \times 10^{-5} \times \tau'_s + 0.443 \times 10^{-5} \times S \times \tau_s \quad (2)$$

ここで、 τ'_s = 使用される鉄筋の平均的な応力度(強度), S = 鉄筋間隔, τ_s = 実際に鉄筋に生じている応力度である。わが国においては、 τ'_s として140N/mm²とするのが妥当と思われる。鉄筋の間隔を確率変数として仮定しその平均値および変動係数を μ_s, δ_s (未知数)とする。さらに、 $a_1 = dS/dW|_{s=s_0}$, $a_2 =$

$C_1/W \cdot L$ とおくと、ひび割れ幅についての最適使用限界に対する使用性指標は、以下のように表わすことができる。ただし C_1 =初期費用, W =単位長さ当たり重量, L =床板幅員, である。

$$\beta_{D \text{ opt}} = \sqrt{2 \ln(-0.443 \times 10^{-5} \frac{a_1 C_F}{\sqrt{2\pi} a_2} \cdot \frac{\tau_s}{L \sigma_{wk}})} \quad (3)$$

ここで, σ_{wk} は限界ひび割れ幅 W_k の標準偏差である。計算例として用いた鉄筋コンクリート床板をFig.2にのせる。ひび割れ幅の限界状態を規定する限界許容ひび割れ幅は通常的环境で0.2~0.3mm, 悪い環境で0.1~0.2mm, 著しく悪い環境で0.0~0.1程度の値とされている¹⁾。ここではひび割れに対して使用性が悪化し始める下限値として0.1mmをとり, 使用性が全くななくなると考えられる上限値を0.5mmと仮定した場合について計算を行なった。床板の幅を8mとし, 作用モーメントを概算で求めて約2.09tf-cm(幅1cm当たり)とすれば, 通常的设计で必要な鉄筋本数は直径16mmの普通丸鋼で1m当たり6本となる。したがって主鉄筋の間隔は170mmとなり, この場合鉄筋に生じる応力度は約132N/mm²となる。したがってひび割れ幅は約0.15mmとなることが予想される。ただし舗装厚は5cm, 鉄筋の許容引長応力度は140N/mm²と仮定する。いっぽう, 式(3)に基づいた設計においては, 以下のような積量を用いて最適なひび割れ使用限界指標の評価を行なった。すなわち鉄筋コンクリートの単位体積重量を2500kgf/m³とし, 生コン, 型枠, 足場等の諸費用(50%割増し)を含めて150,000¥/m²から概算して $a_2=5.0¥/N$, $a_1=185.0mm/N/mm$ とした。式(3)の σ_{wk} は μ_s, δ_s の仮定値を用いて求められる。このとき最適な使用性指標は $\beta_{D \text{ opt}}=2.90$ のときで使用限界ひび割れ幅は $W_k^*=0.112mm$ とえられ, 最適な鉄筋間隔は143.11mmとなる。いま鉄筋間隔を140mmとすれば単位m当たり7本の鉄筋が必要となり, この場合には鉄筋に生じる応力は約113N/mm²となる。このことは通常的设计に比較した場合, 本計算例によれば鉄筋の間隔を狭くする必要がありしたがって鉄筋量が増加することになった。いま仮に鉄筋の直径を13mmにした場合を計算すると最適使用性指標 $\beta_{D \text{ opt}}=2.98$, 鉄筋間隔 $S=115mm$, 本数=9本となる。本計算例において使用限界の下限値の設定に影響されるのでその決め方に注意を要する。

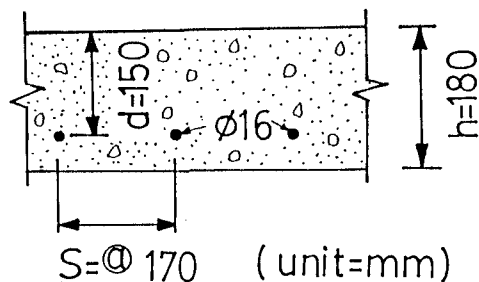


Fig.2 Reinforced Concrete Slab

4. まとめ

本研究は構造物の設計において, ひび割れを限界状態とした場合の使用性に関する研究を行なったものである。使用性に対する限界ひび割れの下限値を0.1mmとした場合に, 本研究での計算例から, 通常行なわれている設計に比べて鉄筋間隔を狭くする必要があることを指摘した。この設計では下限値の設定のみに設計が影響されることがいえる。このことは, 設計において不使用性の定義とその決め方が, 効用を金銭として評価した場合の経済性に関して重要な要素であることを示唆している。以上本研究で得られた結果からみて効用関数の適切な決め方あるいは, 修復費用のより現実的な評価方法, および効用の金銭への変換のためのより適切な対応等の問題が今後の問題として残されている。

参考文献 1)岡村甫:コンクリート構造の限界状態設計法【第2版】, 共立出版, 2)Reid, et al: Probabilistic Design for Serviceability, 3rd Intl. Conference on Structural Safety and Reliability, 1981, 3)後藤他:コンクリート工学(II)設計, 彰国社, 4)成井他:コンクリート構造物の維持と補修, 鹿島出版。