

R C 農業水利構造物の部分係数設定に関する研究

清水建設（株） 正会員 ○辻岡 信也，鈴木 誠
 （財）日本農業土木総合研究所 中島 賢二郎，長谷川 敬寿
 鹿島建設（株） 正会員 佐々木 義裕

1. 目的

近年，我が国において，構造設計基準類を国際標準に整合させる方向での見直しが話題となってきた．国際標準の基本的な考え方は，構造物に要求される性能を定量的に照査しようとするものである．こうした動きの中で農業水利構造物に関する基準においても性能設計体系に基づいた改訂が求められており，構造物設計についての現状と課題，今後のあるべき姿がとりまとめられている¹⁾．また筆者らは，農業水利構造物の性能設計体系を目指した基礎研究の一環として，現行基準で設計されたコンクリート製用水路の力学的性能に対応する限界状態関数を設定し，信頼性理論を用いて信頼性の評価を行っている³⁾．

本研究では，農業水利構造物の曲げ耐力及びせん断耐力に関する部分係数法の照査フォーマットを提案し，さらに信頼性評価の際のデータを元にして，適切な部分係数を設定する検討を行った．

2. 部分係数法による照査式フォーマット

本研究において，部分係数法の提案を行う限界状態は曲げ耐力に関する限界状態とせん断耐力に関する限界状態である．ここでは部分係数法によるこれら二つの限界状態に関する照査式を提案する．

曲げ耐力に関する照査式を式(1)に示す．

$$M_u(f_c/\gamma_{fc}, f_s/\gamma_{fs}, d_1/\gamma_{d1}, d_2/\gamma_{d2}) - M_d(\gamma_{sc}/\gamma_{sc}, \gamma_t/\gamma_t, \gamma_{wt}/\gamma_{wt}, \phi/\gamma_\phi) \leq 0 \quad (1)$$

ここに， M_u ：曲げ耐力(Nm/m)， f_c ：コンクリート圧縮強度の特性値(N/mm²)， γ_{fc} ：コンクリート圧縮強度の部材係数， f_s ：鉄筋降伏強度の特性値(N/mm²)， γ_{fs} ：鉄筋降伏強度の部材係数， d_1 ：内側鉄筋かぶり値(mm)， γ_{d1} ：内側鉄筋かぶり値の部分係数， d_2 ：外側鉄筋かぶり値(mm)， γ_{d2} ：外側鉄筋かぶり値の部分係数， M_d ：発生曲げモーメント(Nm/m)， γ_{sc} ：コンクリート単位体積重量(kN/m³)， γ_{sc} ：コンクリート単位体積重量の部分係数， γ_t ：土の単位体積重量(kN/m³)， γ_t ：土の単位体積重量の部分係数， γ_{wt} ：飽和土の単位体積重量(kN/m³)， γ_{wt} ：飽和土の単位体積重量の部分係数， ϕ ：土の内部摩擦角(deg)， γ_ϕ ：土の内部摩擦角の部分係数である．

せん断耐力に関する照査式を式(2)に示す．

$$V_{cd}(f_c/\gamma_{fc}) - V_d(\gamma_{sc}/\gamma_{sc}, \gamma_t/\gamma_t, \gamma_{wt}/\gamma_{wt}, \phi/\gamma_\phi) \leq 0 \quad (2)$$

ここに， V_{cd} ：せん断耐力(N/m)， V_d ：発生せん断力(N/m)である．

3. 確率変数の感度係数に関する検討

本研究では，将来実務者に提供すべき、各種目標信頼性指標に対応した部分係数の試算を行った．実際の設計に用いられることを考えれば，単純で汎用性のある部分係数及び照査法を設定することが望ましい．そのためには各破壊モードにおいて，感度係数を出来る限り同一の値で規定する必要があるが，感度係数の値が正と負に逆転するケースが現れる場合，つまりケースによって荷重側にも耐力側にも働く確率変数については2通りの照査を行うこととし，2種の感度係数を設定した．その場合

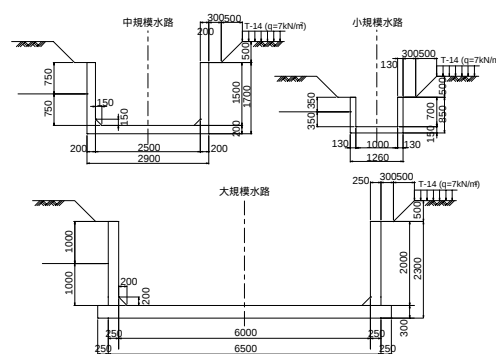


図-1 検討水路の構造(現場打設)

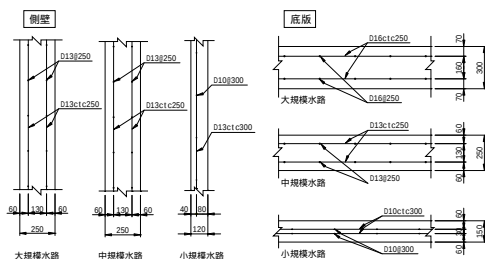


図-2 検討断面配筋図(現場打設)

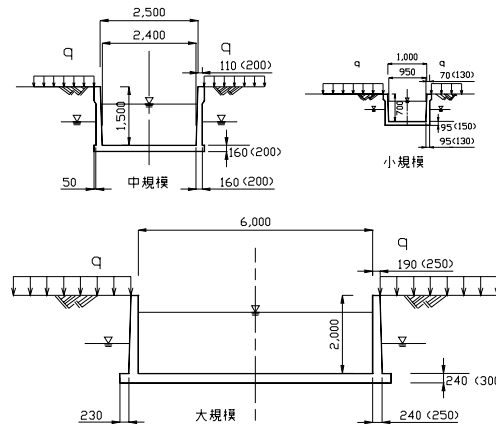


図-3 検討水路の構造(プレキャスト)

キーワード 農業水利構造物，開水路，構造安定性，部分係数，信頼性評価

連絡先 〒105-8007 東京都港区芝浦 1-2-3 清水建設（株）土木事業本部設計部 TEL 03-5441-0598

分けの結果、曲げ耐力に関しては caseM1～caseM5、せん断耐力に関しては caseS1～caseS3 を設定した。検討対象とした現場打設構造 3 種の断面図を図-1 に、配筋図を図-2 に示す。同様にプレキャスト構造 3 種の断面図を図-3 に、配筋図を図-4 に示す。さらに現場打設構造・プレキャスト構造それぞれに共通の検討ケース名を表-1 に示す。現場打設構造では検討ケースごとの感度分布が多様であるため、感度係数を工学的判断で個別に設定し、プレキャスト構造では感度分布が一様に近いたため、工学的判断により全ケースの感度の 75% タイル値を感度係数として設定した。以上の視点から設定した曲げ耐力に関する感度係数を表-2 に示す。せん断耐力に関する感度係数は後述の部分係数の値と併せ、表-3 に示す。感度係数の設定において、±0.2 以下の感度係数しか持たない確率変数の感度係数は 0 としている。

4. 部分係数の設定と考察

部分係数の設定式を示す。正規分布(φ 以外のすべて)の場合は、
$$\gamma = f_k / f_d \quad f_d = \mu(1 - \alpha\beta V) \quad (3)$$

ここに γ : 部分係数, f_k : 特性値, f_d : 設計値, μ : 確率変数の平均値, V : 確率変数の変動係数, α : 確率変数の設計点における感度係数, β : 信頼性指標である。対数正規分布(φ のみ)の場合は、
$$\gamma = f_k / f_d \quad f_d = \exp(\lambda - \alpha\beta\zeta) \quad (4)$$

ここに, λ : 確率変数の自然対数の平均値 $\lambda = \ln(\mu/\sqrt{1+V^2})$, ζ : 確率変数の自然対数の標準偏差 $\zeta = \sqrt{\ln(1+V^2)}$ である。

目標信頼性指標 β_t は、2.0, 3.0, 4.0 の 3 つの値について検討、 $\beta_t=3.0$ の結果のみを示す。設定した曲げ耐力の照査に関する部分係数を図-5 に示す。感度係数の違いによって部分係数の値は異なっている。現場打設構造とプレキャスト構造を比較すると、caseM1(及び caseM2)と caseM4, caseM3 と caseM4 はそれぞれ同じ傾向にあることがわかる。よって、現場打設構造とプレキャスト構造では部分係数の値が異なるとしても、同様の照査体系を定義することが可能と考えられる。また、せん断耐力の照査に関する部分係数は表-3 に示すとおり、現場打設構造とプレキャスト構造で傾向に違いが見られた。これは両者のコンクリート部材厚に大きな違いがあるためであると考えられる。

5. まとめと今後の課題

本研究では信頼性理論に基づいた手法により、構造物の破壊確率を根拠としてその設計照査式における部分係数の設定を行った。この過程の中で、今後の課題として注目しておくべき点が明らかになった。一点は感度係数 α を主に工学的判断に基づいて設定したが、感度係数が多様な規模の水路に適用可能かを検証するために、今後多数の設計例について試算を行うことが必要である。もう一点は目標信頼性指標 β_t の設定方法である。より対象構造物の供用期間中の要求性能を確実に反映し、合理的な設計を実現する β_t の設定法として、コードキャリブレーションによる方法やライフサイクルコスト (LCC) 最小化による方法などの検討も必要と考えられる。

参考文献

1) 中島賢二郎, 設計基準の性能規定化作業例 設計基準「水路工」を事例として, JIID 研究レポート No.22 pp.87-99, 2001.10.
2) 辻岡信也・中島賢二郎・佐川匡・藤田宗久: RC 農業水利構造物の力学的性能に関する信頼性評価 (現場打設構造), JCOSSAR2003 論文集, pp.979-984, 2003.

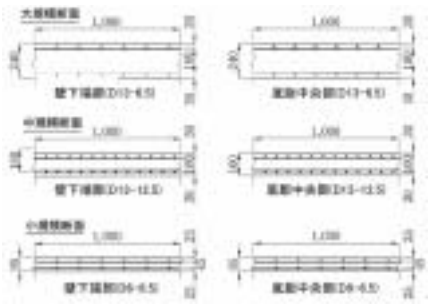


図-4 検討断面配筋図(プレキャスト)

表-1 検討ケース

構造規模	空水時		満水時	
	外水位1/2h	外水位3/4h	外水位h	外水位無し
大規模	case11L	case12L	case13L	case2L
中規模	case11M	case12M	case13M	case2M
小規模	case11S	case12S	case13S	case2S

現場打設・プレキャスト共通。hは水路側壁高さ。

表-2 設定した感度(曲げ)

確率変数	設定した感度係数				
	現場打設			プレキャスト	
	caseM1	caseM2	caseM3	caseM4	caseM5
φ	1.4	1.4	0.9	1.3	0.8
f_c	1.3	1.3	1.0	1.1	1.1
f_y	1.4	1.4	1.5	1.2	1.2
d_1	0.9	1.1	1.0	1.0	1.0
d_2	1.1	0.9	1.0	1.0	1.0

表-3 設定した感度・部分係数(せん断)

確率変数	設定した感度係数			設定した部分係数		
	現場打設	プレキャスト	現場打設	プレキャスト	現場打設	プレキャスト
caseS1	caseS2	caseS3	caseS1	caseS2	caseS3	
φ	0.0	0.2	-0.6	1.4	1.1	0.8
f_c	1.0	1.0	1.0	1.3	1.2	1.2

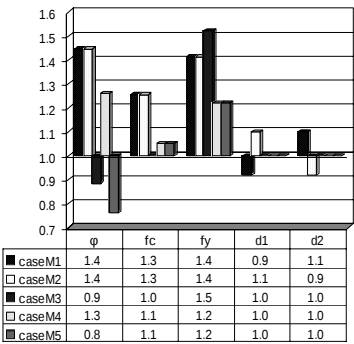


図-5 設定した部分係数(曲げ)