

北見工業大学 正会員 桜井 宏
大成建設(株) 正会員 鈴木 明人
大成建設(株) 正会員 百崎 和博
大成建設(株) 正会員 青木 俊彦

1. はじめに

筆者は、コンクリート構造物の経年変化推定のためのデータの解析に関する検討及び考察を行なった。本研究は、これを基に新設構造物の耐久性評価に関する検討を行なう。新設構造物が与えられた外的要因の劣化外力に対して内的要因の設計や配合を変えることにより耐久性がどのように変動するのかを評価する手法を検討 表-1 評価項目ごとの劣化指標・要因・算定方法及びグレーディング一覧

する。

2. 方法

2-1 算定方法

表-1に示す方法で評価項目ごとの劣化指標・要因・算定方法及びグレーディングを行なう。

評価項目	I. 測定された劣化指標		II. 要因 ([] 内は変数)		III. 経年後の劣化指標 (耐久性) の算定方法	IV. グレーディング
	指標	現象	外的要因	内的要因		
a. 中性化	中性化深さ X (mm)	① 中性化	t: 供用年数 (年)	w/c: 水セメント比 (%) R: [セメント種類] [AE剤種類] [骨材種類]	w/c ≥ 60% のとき $x = 10 \times \sqrt{\frac{R^2 (0.01w/c - 0.25)^2}{0.3 (1.15 + 0.01w/c)}}$ w/c < 60% のとき $x = 10 \times \sqrt{\frac{R^2 (0.046w/c - 1.76)^2}{7.2}}$	0: x < 20 1: 20 ≤ x < 40 2: 40 ≤ x < 60 3: 60 ≤ x < 100 4: 100 ≤ x X: 中性化深さ (%) x: 劣化深さ (mm)
b. 鉄筋腐食	鉄筋腐食率 P (%)	① 塩分の浸透による腐食 ② 中性化による腐食 ③ ひびわれによる腐食	t: 供用年数 (年) L: 海岸からの距離 (m) Co: 親水塩分量 (wt%)	DC: コンクリートの抵抗係数 (cm/s) D: かぶり深さ (mm) UC: 単位セメント量 (kg/m ³) W/C: 水セメント比 (%) γ: フォーカビリチの指標 (1 とする)	Co = 0.48 - 0.07 ln L (太平洋側), Co = 0.45 - 0.06 ln L (北陸地方) C-Co (1 - erf $\frac{D}{2\sqrt{DC \cdot t}}$ - 3.1538 × 10 ⁻⁶) erfx = $\frac{C_{sp}(-\mu^2)}{2000} \cdot \frac{d}{\mu} \mu$, μ = 0.0941 + 0.245 - 0.0299 P = γ $\frac{UC}{D} \cdot \frac{C}{2} \cdot (0.01W/C - 0.3) \cdot 10^4$ ここに φ ($\frac{D-X}{0.41X}$) × 100 ここに φ (a): 正誤分布関数 Mean = $\frac{W_{max} + 0.03}{1.91}$ ここに Mean: 平均ひびわれ幅 (mm) P = 0.167 ($\frac{Mean}{D}$) × 10 ⁴ (-20)	0: P < 10 1: 10 ≤ P < 20 2: 20 ≤ P < 30 3: 30 ≤ P < 50 4: 50 ≤ P
c. ひびわれ	最大ひびわれ幅 W _{max} (mm)	① 鉄筋の応力によるひびわれ ② 乾燥収縮・温度収縮によるひびわれ ③ アルカリ骨材反応によるひびわれ	TC: 温度変化量	f _s : 鉄筋の応力度 (kgf/cm ²) β: 注1) A: 注1) b: 断面の幅 (m) h: 部材の全高 (m) W: 鉄筋の本数 (本) f _{ct} : コンクリートの引張強度 (kgf/cm ²) f _b : コンクリートの鉄筋との平均付着強度 (kgf/cm ²) φ: 鉄筋径 (mm) ε _{cs} : 乾燥収縮ひずみ ε _{te} : 温度収縮ひずみ R ₀ : 反応性骨材割合 (%) R ₀ : セメントに対する骨材中の N _a , O ₂ 量 (%)	W _{max} = 0.0108 β · f _s $\frac{3}{4} \frac{b}{h} \frac{1}{10 \times A} \times 10^4$ W _{max} = $\frac{2b \cdot h \cdot f_{ct}}{\pi \cdot W \cdot \phi \cdot f_b}$ (ε _{cs} + ε _{te} - 100 × 10 ⁻⁶) × 1000 R ₀ 及び R ₀ に対する N _a , O ₂ 量 (R ₀) より膨張率 (EX) を求める。	0: W _{max} < 0.05 1: 0.05 ≤ W _{max} < 0.2 2: 0.2 ≤ W _{max} < 0.3 3: 0.3 ≤ W _{max} < 0.5 4: 0.5 ≤ W _{max}
d. 強度低下	注2) 圧縮強度比 SN (%)	① 凍害による低下 ② アルカリ骨材反応による低下	t: 供用年数 (年) S: 凍融強度 (wt · X) t: 供用年数 (年) R: 年凍結融解回数	W/C: 水セメント比 (%) AE or NonAE: AE剤の有無	実験データを適用する場合 W/C-55% のみ R ₀ SO ₂ : 0.3%, SN = 40.15t + 100 R ₀ SO ₂ : 2.0%, SN = 233.61t + 100 R ₀ SO ₂ : 5.0%, SN = 244.55t + 100 f ① の SN を強度に以下の式で換算 AE SN = $\frac{D-N-8}{0.18}$ NonAE SN = $\frac{D-N-8}{0.18}$ W/C-40% SN = -0.08N + 100 W/C-50% SN = -0.11N + 100 W/C-55% SN = -0.11N + 100 W/C-60% SN = -0.11N + 100 W/C-65% SN = -0.11N + 100 W/C-70% SN = -0.11N + 100 C ③ より膨張率 EX を求めて SN = f(EX) を算出	0: 95 < SN 1: 90 < SN ≤ 95 2: 80 < SN ≤ 90 3: 70 < SN ≤ 80 4: SN ≤ 70
e. 変形	ひずみ ε (%)	① クリープひずみ ② 乾燥収縮・温度収縮による変形	σ: 荷重による応力度 (kgf/cm ²) TC: 温度変化量	f _c : ヤング係数 (kgf/cm ²) φ: クリープ係数 UC: 単位セメント量 (kg/m ³) W/C: 水セメント比 (%)	ε = $\frac{\sigma}{E_c} \cdot \phi$ (変形であるため φ = 2.0 とする) ε _{cs} = 0.0018W/C - 0.00030UC - 0.131 ε _{te} = 10 × 10 ⁻⁶ × TC	0: ε < 420 1: 420 ≤ ε < 670 2: 670 ≤ ε < 1033 3: 1033 ≤ ε < 2290 4: 2290 ≤ ε
f. 弾性係数低下	注2) 弾性係数低下率 DN (%)	① 凍害	t: 供用年数 (年) R: 年凍結融解回数	W/C: 水セメント比 (%) AE or NonAE: AE剤の有無	実験データを適用する場合 AE NonAE W/C-40% DN = -0.02DN + 100 W/C-50% DN = -0.05DN + 100 W/C-55% DN = -0.08DN + 100 W/C-60% DN = -0.08DN + 100 W/C-65% DN = -0.36N + 100 W/C-70% DN = -0.51N + 100	0: 98 < DN 1: 93 < DN ≤ 98 2: 85 < DN ≤ 93 3: 78 < DN ≤ 85 4: DN ≤ 78
g. 劣化	平均融雪量 W (mm)	① 凍害による表面劣化	t: 供用年数 (年) R: 年凍結融解回数 W: 融雪量の補正係数 (0 ~ 1)	W/C: 水セメント比 (%) α: セメントの種類と養生条件によって決まる係数 f _c : コンクリートの圧縮強度 K: 表面強度低下率 α = 0.0129	N = α ($\frac{W}{55}$) ² - (0.001195 h ² · f _c) ² $\frac{W}{55}$ N = 0.5 とする α = 0.0129	0: N < 1 1: 1 ≤ N < 2 2: 2 ≤ N < 3 3: 3 ≤ N < 4 4: 4 ≤ N

注1) β: 中立軸と鉄筋の中心間の距離に対する中立軸と引張線との距離の比、はりでは約 1/2
A: 鉄筋と対角をなす引張線コンクリートの断面積 (cm²) を鉄筋の断面積によって除したものを重ね合わせる。

注2) 底層部材による上昇分: SN = 55.32 + 16.60 ln (365t)
(DN = 41.49 + 12.45 ln (365t))

劣化度の算定方式は、次式による。²⁾

$$\text{総合劣化度} = \sqrt{\frac{\sum (A_i^2 \cdot \alpha_i)}{100}} \quad \text{ただし} \quad \begin{cases} A_i: \text{劣化現象の平均劣化度 (0 \sim 4)} \\ \alpha_i: \text{劣化現象の重み係数} \end{cases}$$

($\sum \alpha_i = 100$)

2-2 実構造物の検討 実構造物の検討例として表-2に示す条件の栈橋を選定し、表-3に示す重みで計算する。構造物おける設計上の鉄筋のかぶり深さ (D) と水セメント比 (W/C) を変化させて、このときの経年変化の推定を行なう。

表-2 実構造物の検討データ

要 因	記号: パラメータ (単位)
外 劣 化	1: 塩化率 (年)
	2: 塩化率 (mm)
	3: 塩化率 (kg/m ²)
	4: 塩化率 (mm)
内 劣 化	5: 鉄筋の腐蝕係数 (年)
	6: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
	7: 鉄筋の腐蝕係数 (kg/m ²)
	8: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
内 劣 化	9: 鉄筋の腐蝕係数 (年)
	10: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
	11: 鉄筋の腐蝕係数 (kg/m ²)
	12: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
内 劣 化	13: 鉄筋の腐蝕係数 (年)
	14: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
	15: 鉄筋の腐蝕係数 (kg/m ²)
	16: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
内 劣 化	17: 鉄筋の腐蝕係数 (年)
	18: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
	19: 鉄筋の腐蝕係数 (kg/m ²)
	20: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
内 劣 化	21: 鉄筋の腐蝕係数 (年)
	22: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
	23: 鉄筋の腐蝕係数 (kg/m ²)
	24: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
内 劣 化	25: 鉄筋の腐蝕係数 (年)
	26: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
	27: 鉄筋の腐蝕係数 (kg/m ²)
	28: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
内 劣 化	29: 鉄筋の腐蝕係数 (年)
	30: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
	31: 鉄筋の腐蝕係数 (kg/m ²)
	32: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
内 劣 化	33: 鉄筋の腐蝕係数 (年)
	34: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
	35: 鉄筋の腐蝕係数 (kg/m ²)
	36: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
内 劣 化	37: 鉄筋の腐蝕係数 (年)
	38: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
	39: 鉄筋の腐蝕係数 (kg/m ²)
	40: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
内 劣 化	41: 鉄筋の腐蝕係数 (年)
	42: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
	43: 鉄筋の腐蝕係数 (kg/m ²)
	44: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
内 劣 化	45: 鉄筋の腐蝕係数 (年)
	46: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
	47: 鉄筋の腐蝕係数 (kg/m ²)
	48: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
内 劣 化	49: 鉄筋の腐蝕係数 (年)
	50: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
	51: 鉄筋の腐蝕係数 (kg/m ²)
	52: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
内 劣 化	53: 鉄筋の腐蝕係数 (年)
	54: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
	55: 鉄筋の腐蝕係数 (kg/m ²)
	56: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
内 劣 化	57: 鉄筋の腐蝕係数 (年)
	58: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
	59: 鉄筋の腐蝕係数 (kg/m ²)
	60: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
内 劣 化	61: 鉄筋の腐蝕係数 (年)
	62: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
	63: 鉄筋の腐蝕係数 (kg/m ²)
	64: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
内 劣 化	65: 鉄筋の腐蝕係数 (年)
	66: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
	67: 鉄筋の腐蝕係数 (kg/m ²)
	68: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
内 劣 化	69: 鉄筋の腐蝕係数 (年)
	70: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
	71: 鉄筋の腐蝕係数 (kg/m ²)
	72: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
内 劣 化	73: 鉄筋の腐蝕係数 (年)
	74: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
	75: 鉄筋の腐蝕係数 (kg/m ²)
	76: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
内 劣 化	77: 鉄筋の腐蝕係数 (年)
	78: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
	79: 鉄筋の腐蝕係数 (kg/m ²)
	80: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
内 劣 化	81: 鉄筋の腐蝕係数 (年)
	82: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
	83: 鉄筋の腐蝕係数 (kg/m ²)
	84: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
内 劣 化	85: 鉄筋の腐蝕係数 (年)
	86: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
	87: 鉄筋の腐蝕係数 (kg/m ²)
	88: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
内 劣 化	89: 鉄筋の腐蝕係数 (年)
	90: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
	91: 鉄筋の腐蝕係数 (kg/m ²)
	92: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
内 劣 化	93: 鉄筋の腐蝕係数 (年)
	94: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
	95: 鉄筋の腐蝕係数 (kg/m ²)
	96: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
内 劣 化	97: 鉄筋の腐蝕係数 (年)
	98: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)
	99: 鉄筋の腐蝕係数 (kg/m ²)
	100: 鉄筋の腐蝕係数 (mm)

表-3 要求される性能に対する評価項目の重みの仮定

構造物の性能	重み係数 (α)
性能の優み	
中性化	5 %
鉄筋腐食	50 %
ひびわれ	10 %
強度低下	20 %
変形	5 %
表面劣化	5 %
計	100 %

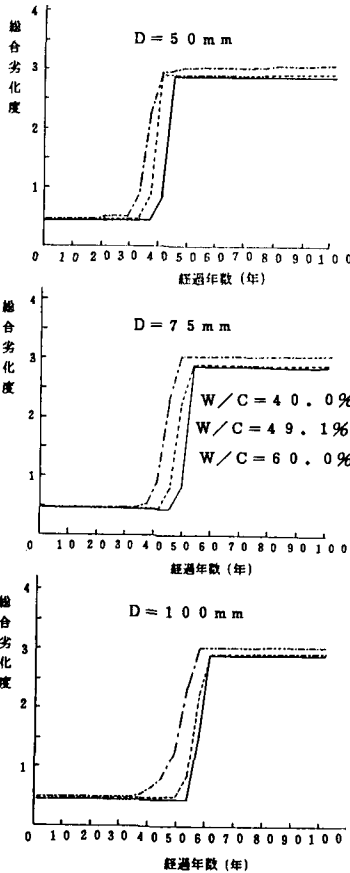


図-1 経過年数と総合劣化度の経時変化

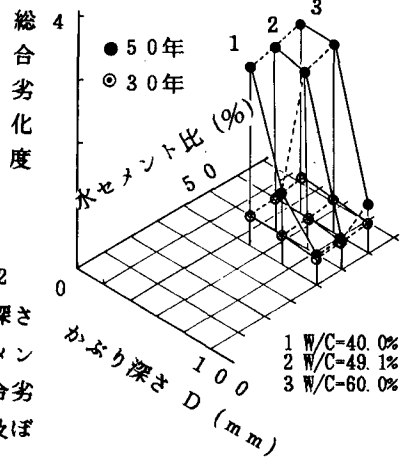


図-2 かぶり深さと水セメント比が総合劣化度に及ぼす影響

3. 検討結果

経過年数と総合劣化度の経時変化の計算結果を図-1に示す。50年、30年でのかぶり及びW/Cと総合劣化度の関係を、図-2に示す。これによると経年変化は、かぶり深さの影響を強く受ける。また、かぶりが75mmのところではW/Cの影響を強く受けている。

4. まとめ

新設コンクリート構造物の耐久性を総合劣化度のように経年劣化を総合的に数量化し設計条件の取り方等の影響を予測することが新設構造物の耐久性を評価する上で必要と考えられる。

参考文献

- 1) 桜井、青木、百崎、鈴木: コンクリート構造物の経年変化推定のためのデータ解析に関する検討及び考察。JCI年次講演会講演論文集, 1986
- 2) 建設省建築研究所: 昭和60年度建築研究所。第2研究部聴講資料, 1985