

[48] コンクリートの凍害に関する暴露実験

正会員 ○ 弥勒院輝明 (北海道電力技術研究所)
 藤井 一郎 (北海道電力技術研究所)
 坪田 則行 (北海道電力技術研究所)
 佐藤 希久 (北電興業技術部)

1. まえがき

北海道は積雪、寒冷地域に位置しており、コンクリート構造物に対しては凍害劣化等の被害を及ぼす苛酷な自然条件下にある。そのため、電力施設の一般構造物用コンクリートの凍結融解作用に対する屋外暴露実験と促進凍結試験との関連性把握を目的として昭和48年札幌近郊藻岩ダムに屋外暴露供試体を設置し、以来毎年継続測定を実施している。

本報告書は、上記条件を配慮した設計配合によるコンクリート供試体の暴露実験に関する現段階までに得られた凍結抵抗性の諸試験のうち、重量減少率による測定方法が最も促進凍結試験と対応するという結果を述べたものである。

2. 暴露実験

2-1 実験場の位置

藻岩実験場(図-1)は、札幌市の都心部から南方約15km離れ、豊平川から取水している北海道電力藻岩発電所ダムの直上流に隣接した所で、開口方向は南南西で冬期の日照が入り易い状態となっている。

2-2 供試体

供試体は図-2に示すように暴露実験用円柱供試体(円柱径φ20×40cm)と促進凍結試験用供試体(ASTM角柱7.5×10×40cm)の2種類で、円柱供試体は、常時空中(D)、高水時冠水(WH)、定常運転時冠水(W)、また、ASTM供試体は図-3のように水位変動(湿潤、乾燥)状態で自然暴露し、設置位置の差異による劣化状況を判定し、供試体は表-1の通り作成した。

2-3 気温、日照時間、凍結融解日数

藻岩ダム付近における昭和48年から59年まで、12ヶ年の気温(月平均最高、最低)、凍結融解日数は表-2・表-3の通りで、既往最高は35℃(8月)、最低-22.5℃(1月)、年間日照時間は平均で約1960時間である。

なお、藻岩ダム付近における凍結融解日数は、表-2に示す通り年間約100日となった。

2-4 実験内容

コンクリートの水セメント比、混和剤の混入、骨材種別などの配合条件と暴露条件を実験要因として、重量、動弾性係数、長さ変化など年2回(凍結融解期前後)経年変化を継続測定した。

2-5 配合

コンクリートの配合条件及び配合は、表-4に示す通り7ヶ

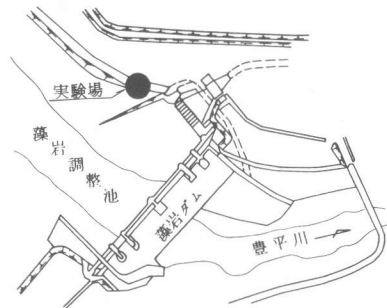
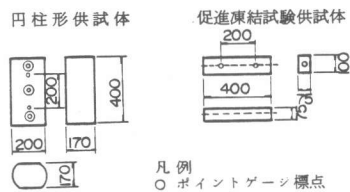


図-1 位置図



凡例
 ○ ポイントゲージ標点
 ⊙ 超音波測定位置

図-2 暴露供試体形状

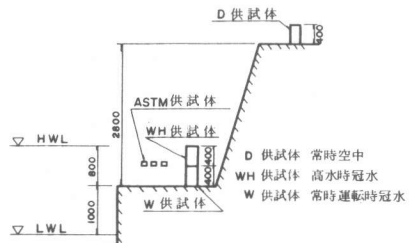


図-3 暴露供試体設置状況図

表-1 供試体の数

配合番号	円柱供試体			促進凍結試験供試体	
	W	WH	D	自然暴露	標準水中養生
AE50	2	2	2	2	2
AE70	2	2	2	2	2
AE100	2	2	1	1	1
N50	2	2	2	2	2
N70	2	2	2	2	2
N100	2	2	2	2	2
NT70	2	2	2	2	2
計	42			13	13

ースとした。配合は、水セメント比による耐久性の差異を、また、骨材は品質の差異による耐久性の相違を比較するため、静内川産と比重が小さく、吸水率が大きい品質の劣る豊平川産の川砂、川砂利を使用した。(NT 70)

なお、粗骨材の最大寸法は20%で、粒度分布は土木学会標準粒度の範囲内である。

2-6 経年変化測定状況

動弾性係数は、超音波測定器と共振周波数測定器(ASTM供試体のみ)を用いて測定した。

超音波測定器による円柱供試体の経年変化値を図-4(1)に示すが、配合条件別の劣化要因を判別できるような傾向は得られていない。

図-5(1)は、ASTM供試体の超音波と、共振波測定による経年の値を示したものであるが、これによれば、空気量が少なく水セメント比が大きいケースについて、弾性係数の低下が見られる。

図-4(3)は、円柱供試体の重量変化を示しており、設置条件(W, WH, D)による顕著な差は見られないが、AE剤不使用、水セメント比が大、吸水率の多い低品質骨材の供試体に重量減少傾向が顕われている。

図-5(3)は、ASTM供試体の重量変化を示しており、水セメント比が増加するに従ってコンクリート表面のモルタル剝離や骨材の欠損などが確認され、重量減少傾向が大きい。

図4-1(2)は長さ変化率の測定結果であるが、各ケースとも変化はない。(図-5(2)についても同じ)

表-2 藻岩ダムの月平均最高、最低気温

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
最高	-1.9	-1.4	2.6	10.3	17.4	21.8	25.7	26.0	21.4	14.7	6.8	0.8
最低	-9.9	-10.2	-6.3	0.2	5.7	10.7	15.2	16.1	10.9	4.4	-1.5	-6.6

(昭和48年~59年)

表-3 気温による年間凍結融解日数(年平均)

日最高℃ 日最低℃	-10.1 -10.0	-5.1 5.0	1.0 0.9	5.0 0.0	10.1 10.1	計
-0.1~-0.9				1.5	2.5	2.6
-1.0~-5.0			4.0	1.0	25.3	16.0
-5.1~-10.0		1.7	20.3	2.7	28.4	4.0
-10.1~-15.0		2.4	20.0	1.0	7.8	
-15.1~-20.0	0.1	1.7	1.8	0.1	0.1	
-20.1~-25.0		0.2				
-25.1~-30.0						
合計	0.1	6.0	46.1	4.8	63.1	22.5

表-4 配合表

番号	使用骨材	コンクリートの種類	粗骨材の最大寸法(mm)	水セメント比(%)	単位の骨材量(kg/m ³)	単位のセメント量(kg/m ³)	絶対細骨材率(%)	単位の細骨材量(kg/m ³)	単位の粗骨材量(kg/m ³)	単位混和剤量(g/m ³)	スランブ(cm)	空気量(%)
AE50	S: 静内川産 G: 静内	AE	20	50	308	154	41.5	776	1138	98.6	8.0	6.0
AE70	*	*	20	70	222	155.4	45.5	883	1099	46.6	7.2	5.5
AE100	*	*	20	100	165	165	52.0	1020	979	49.5	6.7	6.8
N50	*	NON AE	20	50	342	171	44.5	829	1075	—	6.2	2.4
N70	*	*	20	70	245	171.5	48.5	942	1040	—	6.0	2.8
N100	*	*	20	100	178	178	54.0	1070	949	—	5.4	3.1
NT70	S: 豊平川産 G: 豊平川産	*	20	70	266	186.2	41.5	702	1013	125	7.3	5.2

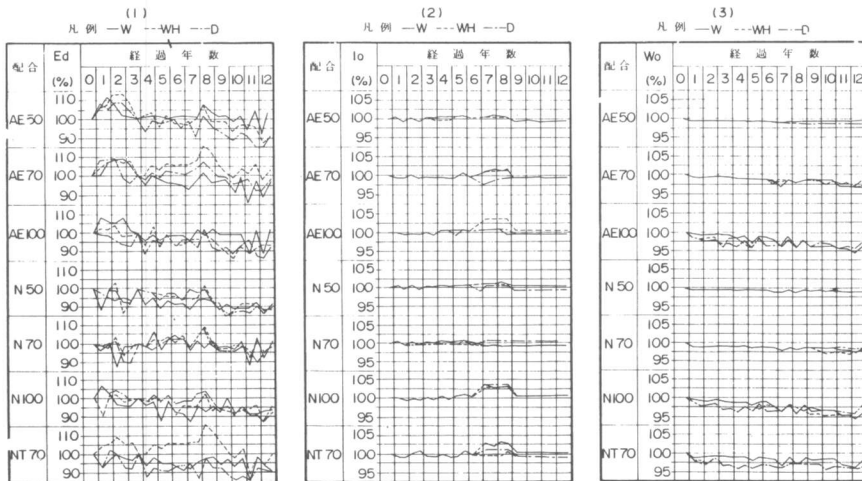


図-4 動弾性係数、長さ変化、重量経年変化曲線(暴露実験用円柱供試体)

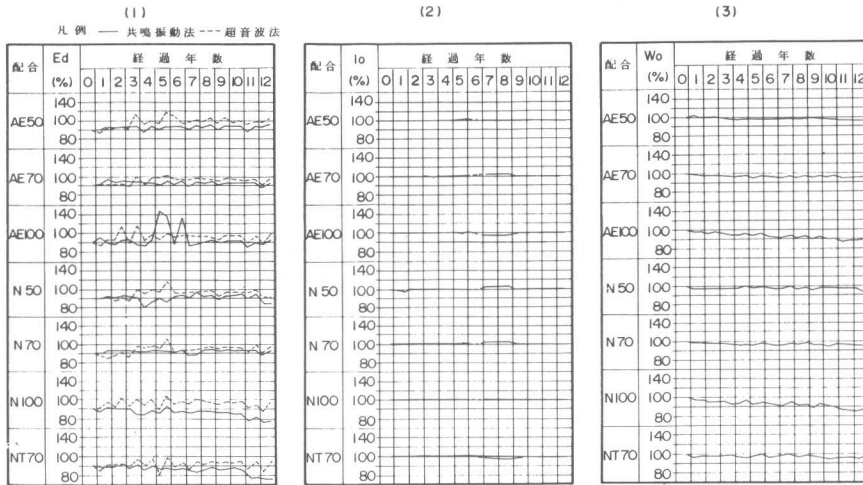


図-5 動弾性係数、長さ変化、重量経年変化曲線 (ASTM供試体)

3. 実験室における試験結果

3-1 配合及び供試体

配合は円柱供試体と同一配合(表-4)で、強度は標準供試体、促進凍結試験はASTM供試体で実施した。

3-2 強度試験

材令(7日、28日、91日)及び水セメント比に対する圧縮強度の関係は図-6のとおりである。

3-3 促進凍結試験結果

促進凍結試験結果は材令10週を基準として、相対動弾性係数について、凍結融解回数305サイクル、8段階の測定を実施し、結果は図-7に示すとおりサイクル数の増加に従って、水セメント比が大、AE剤不使用、低品質骨材使用の供試体ほど相対動弾性係数の低下が見られる。

なお、N100については破壊に至っているが現地設置の供試体ではその兆候は見られていない。

4. 考察

屋外暴露実験と促進凍結試験の関連性を求めるための測定方法として、動弾性係数、長さ変化、重量減少などを測定したが、本供試体では、凍結融解作用による内部の欠陥が顕著に出ていないことから、重量変化測定と促進凍結試験値との対応を重点的に取り上げ検討を行った結果、現段階までで得られた成果と今後の課題は次のとおりである。

(1) 動弾性係数による測定については水セメント比が大、低品質骨材使用などコンクリートの劣化要因傾向は見られるものの、比較的良質配合の場合においては乾湿条件や空気量などによる要因を分析することは困難となっている。

このことは、今回の供試体においては、動弾性係数の顕著な低下傾向が見られないとともに動弾性

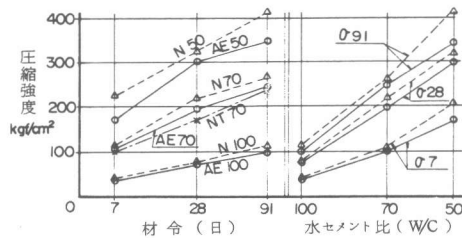


図-6 材令・水セメント比に対する圧縮強度

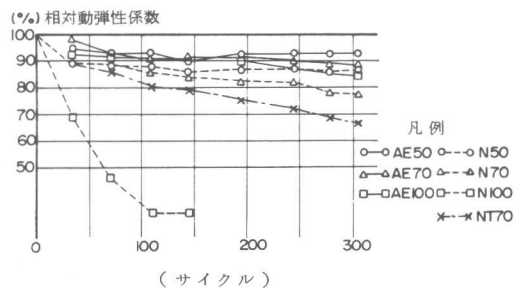


図-7 促進凍結試験結果

係数測定値は測定時期及び供試体の測定時条件(乾燥、湿潤)によって非常に影響を受け易いことが原因と考えられる。

(2) 長さ変化については測定開始以来ほぼ一定の値となっているが、これは、供試体の表層部のみでなく内部との一体伸縮の計測(ポイントゲージ間隔20cm、埋入深さ30%)

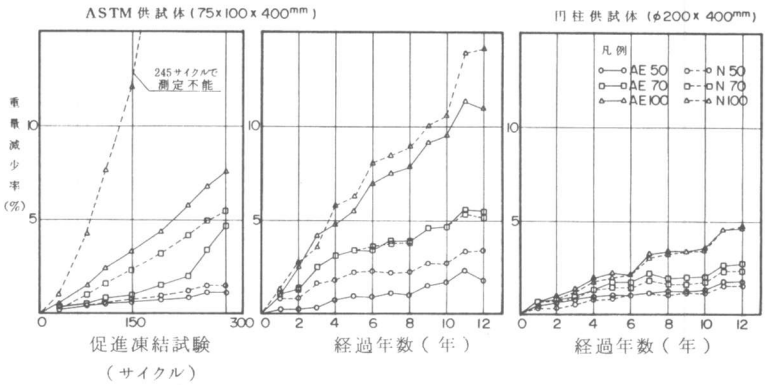


図-8 促進凍結試験及び暴露実験重量減少率

を試みたため、供試体の内部欠陥が生じない段階においては値として変化がないことに基づくものと推察される。

(3) 重量測定については、促進凍結試験及び屋外暴露供試体(ASTM供試体)に対する促進凍結試験回数と経過年数との関係について、空気量、水セメント比をパラメーターとして求めた図-8から非常によい相関性を得ることができた。

また、円柱供試体の重量減少率は、全重量に対する表面積が小さいことから、ASTM供試体よりも低い値となったが、空気量、水セメント比をパラメーターとした関係は、ASTM供試体と傾向的に一致する。

自然暴露状態と促進凍結試験による供試体の重量減少率を比較してみると動弾性係数や長さ変化測定の経年による劣化傾向と異なった結果が得られている。すなわち、重量減少率は自然状態の10年未満が促進凍結試験(ASTM C-666)の約300サイクルに相当し、自然状態下における供試体が厳しい条件に曝れていることが判る。

自然状態においては、冬期の凍結融解回数が年間100回程度に及ぶほかに、促進凍結試験に加味されていない直射日光、風雨による乾湿条件や、温度変化(最高温度差約60°C)などの気象作用や水位の変動など年間を通じて敏感に受けており、これらの劣化要因の影響も重量減少率に相当影響しているものと考えられる。

したがって、従来促進凍結試験で通常実施されている凍結融解300サイクルは、寒冷地域に長年月使用される電力施設コンクリートの重量減少を対象とした凍害劣化の検討に際しては、限界サイクル数を更に多くするなどの配慮が必要であるものとする。

一方重量測定法を円柱供試体や構造物へ適用することは実施例が乏しく、重量計測の問題や外部露出条件が種々異なることなどから現実的ではないが図-8から明らかなように凍結指数としての重量減少率が重量に反比例して小さくなる傾向を有することから、今後、重量減少率のサイズ効果による凍結抵抗性の関連を把握することが課題である。

5. あとがき

北海道における電力一般構造物コンクリートの現地暴露実験と促進凍結試験における測定方法に関して、経年13年のASTM暴露供試体の観測値をもとに検討を試みた結果、供試体内部に欠陥が顕著に認められない場合は、測定方法として重量変化測定が促進凍結試験と良い相関を示すことがわかった。

また、促進凍結融解回数が300回程度の試験値では、屋外暴露状態(乾燥・湿潤のくり返し)における10年未満の重量減少率にとどまったことから、今後、構造物(供試体)の設置条件に応じた限界サイクル回数の選定とサイズ効果の検討が必要と考えられる。

最後に、本実験実施にあたって、ご指導、ご協力を戴いた電力中央研究所関係者の方々に深甚の謝意を表わす次第であります。