

北海道開発局土木試験所 正員 前川 静男
同 上 正員 〇今井 益隆

1 まえがき 良質の材料を使用し、適切な配合としたコンクリートは入念な施工によって、凍結融解の繰返し作用に対して十分耐久となることはすでに明らかである。しかし、実際の構造物では凍結融解作用による被害を受けた例も少なくなく、凍害に関して未解決の問題が多いことを示している。本文は、施工後1~9年経過したコンクリート構造物の凍害状況を調査し、凍害に及ぼす材料、配合などの影響について検討した結果を述べたものであり、耐久的なコンクリートを造るための配合選定に役立てようとするものである。

2 調査の目的 コンクリートの配合を選定する基準として土木学会コンクリート標準示方書があり、構造物別に耐久性からきまる最大水セメント比、その他の配合条件が定められている。北海道のような気象条件の厳しい地方では、コンクリートの凍害抵抗性がとくに重要な性質として要求される。コンクリートの凍害抵抗性の研究手段として、ASTM C 666に代表される促進試験および暴露試験、実際の凍害が直ちに観測できる利点をもつ構造物の凍害調査が挙げられるが、ここでは基準に従って配合を定めたコンクリート構造物の凍害を調査し、示方書に示されている耐久性からきまる水セメント比の数値の妥当性を検討するために、コンクリートの耐久性に及ぼすセメントの種類、混和剤の種類、経過年数、環境条件などの影響を明らかにしようとした。

3 調査の方法 調査対象は北海道開発局所管の土木構造物で配合資料が明確であり、構造物の種類、環境条件などが広範囲となるように選定した。調査は目視で行ない、スケッチおよび写真によって記録し、表-1の露出条件ごとに後述の方法により凍害程度を評価した。

表-1 コンクリート構造物の露出条件

記号	構造物の面	飽水程度
1	上 面	雨水、融雪水などがたまる部分
2	側 面	水面付近で水で飽和される部分(排水管からの水、その他の水の影響をうける場合を含む)
3	側 面	上面から流下する水の影響が大きい部分
4	側 面	普通の露出状態(直接的雨、雪はうける)

4 調査の結果 調査件数は434件である。構造物の経過年数は1~9年で、これより古いものは資料が不十分で調査ができず、また、プレコンクリートの大部分は経過年数9年のものであった。

表-2 凍害発生率 (凍害件数/調査件数)

セメントの種類	AEコンクリート		プレコンクリート	
	淡水	海水	淡水	海水
ポルトランド	$\frac{1}{24} = 0.22$	$\frac{15}{24} = 0.63$	$\frac{1}{8} = 0.13$	$\frac{1}{1} = 1$
高 炉	$\frac{3}{29} = 0.41$	$\frac{10}{13} = 0.83$	$\frac{8}{13} = 0.62$	$\frac{1}{1} = 1$
7717系	$\frac{8}{23} = 0.35$	$\frac{4}{6} = 0.78$		
小 計	$\frac{5}{74} = 0.32$	$\frac{16}{206} = 0.080$	$\frac{2}{1} = 0.43$	$\frac{2}{2} = 1$
合 計	$\frac{(231 + 18^*)}{(405 + 29^*)} = 0.57$			

* 配合資料不備のため分類できないもの

結果のとりまとめに際して、施工に起因する空隙、材料分離など凍害と直接関係のない変状は除外したが、流水による侵食は凍害と明確に区別することは困難であり、これを含めて処理した。凍害の発生率は表-2に示すとおりで、全体で57%の構造物に何らかの変状が認められた。また、海岸および港湾構造物は、その他の場合よりも約2倍の変状発生率を示した。セメントの種類によっても変状発生率が異なり、混合セメントを用いた場合はポルトランドセメントの場合よりも変状発生率が大きかった。凍害の形態別の発生状況ではスケリータと侵食が最も多く、スケリータは構造物の上面と、上面から流下する水分の影響をうける側面に顕著であり、侵食は海岸、港湾構造物で波浪をうける面に多く見られた。ヒュテンクの例がいくつかあったが被害が軽く、凍害による大きなスポールは認められなかった。以上の4つの凍害の形態は必ずしも判然とせず、また単独に起こることも限らないため、便宜上これらを区別せず単に凍害によるばく離と見なすこととした。

5 結果の考察 凍害に及ぼす要因の数は多いが、ここでは主として配合選定に関連する事項を対象に検討することとし、凍害としてポップアウトとひびわれを除き、モルタルおよび粗骨材のはく離のみをとりあげた。

(1) 凍害の評価方法 RILEM, ACIに準拠したばく離程度の要素のほか、被害面積の要素を加えて、表-3の凍害度(仮称)を定めた。図-1~4は、経過年数ごとに凍害度の件数を累計して百分率で示したもの

であり、曲線が下にあることは凍害程度が著しいことを意味する。(2) セメントの種類 図-1によると、セメントの種類により凍害の発生状況がかなり異なる。ポルトランドセメントは調査件数も少ないが、混合セメント使用の場合に比べて概して凍害が少ない。高炉セメントは1~2年の間の凍害発生が著しく、フライアッシュセメントは1~2年では高炉セメントの場合よりも少ないが、その後徐々に進行して4~5年では大差がなくなる。(3) 水セメント比 図-1中の括弧内の数字は各凍害度別の平均水セメント比(%)である。水セメント比の範囲が狭いこと、品質の変動や環境条件の相違などにより水セメント比の大きさの影響は明らかとはならなかった。

(4) AE剤と減水剤の比較 図-2によると、AE剤と減水剤では、凍害に対してほとんど差がないといえる。(5) 淡水と海水の作用をうける場合の比較 図-3によると、海水の作用をうける場合、凍害をうける度合いが大きい。土木学会コンクリート標準示方書では、気象作用が激しく海水の作用をうける場合は、淡水の場合よりも5%小さい水セメント比を規定しているが、なお被害程度が大きいのは海岸や港湾構造物

は設計基準強度が小さいこと、摩耗作用、凍結融解作用が、より厳しいことなどが原因と考えられる。(6) 露出条件 図-4は、表-1の露出条件別に凍害状況を示したものである。水分のたまり易い上面、その水分が

流下する側面、波浪や土石によるすりへり作用が加わる側面に凍害が起り易く、露出条件が厳しいことを示している。

6 むすび コンクリート構造物の凍害調査の結果から、環境条件、セメントの種類などによっては、現行の水セメント比の値をある程度緩

和することが可能であるが、混合セメントで海水の影響をうける場合に水セメント比を大きくすることは疑問がある。しかし、水セメント比の僅かな違いよりも均等質のコンクリートを造り、十分に養生することが耐久性により大きな効果があるといえる。なお、今後更に資料の蓄積をばかり、検討をかきねたいと考えている。

表-3 凍害度の定義

要素	程度	状態
はく離程度	1.軽度	モルタル分のみのはく離、深さ5mm未満
	2.中程度	粗骨材間のモルタルもはく離、5~10mm
	3.やや強度	粗骨材が完全に見える 10~20mm
	4.強度	粗骨材がなくなる 20mm以上
被害面積の程度	I.少ない	構造物のごく一部、面積1%以下
	II.少ない	数バケの異常に起因する程度、約10%前後
	III.中程度	1フロア単位、約25%前後
	IV.全面的	被害をうけている方が多い、約50%以上
凍害度 はく離の程度と被害面積の程度 の組合せ	1.軽度	I I, I II, 2 I
	2.中程度	2 II, 2 III, 3 I, 3 II
	3.やや強度	3 III, 4 II, 2 IV
	4.強度	4 IV, 4 III, 3 IV

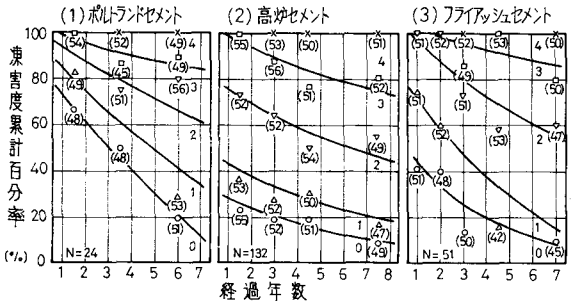


図-1 セメントの種類、水セメント比と凍害程度(AEコンクリート、海水の作用をうける場合)

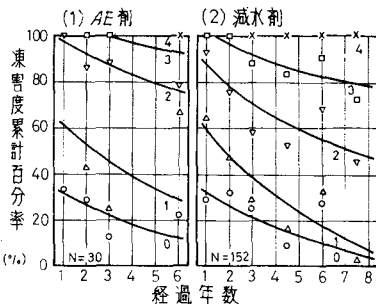


図-2 混和剤の種類と凍害程度(混合セメント、海水の作用をうける場合)

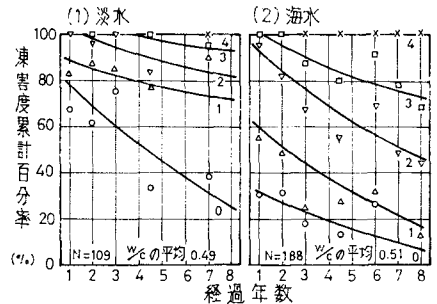


図-3 作用する水と凍害程度(混合セメント、AEコンクリート)

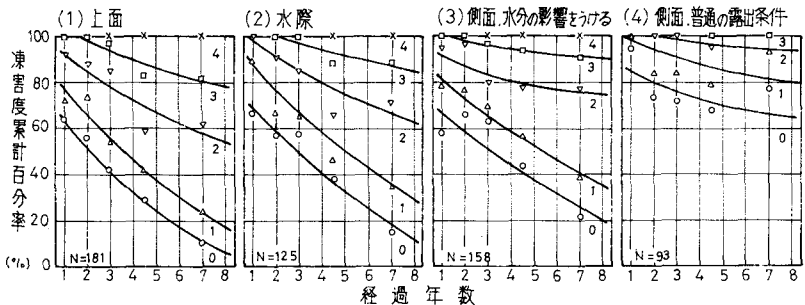


図-4 露出条件と凍害程度(混合セメント、AEコンクリート、海水の作用をうける場合)