

論文

[1099] 汀線部コンクリートの凍結融解作用による劣化

正会員○佐伯 昇(北海道大学工学部)

正会員 藤田嘉夫(北海道大学工学部)

高田宣之(北海道大学工学部)

正会員 志村和紀(北海道大学工学部)

1. まえがき

汀線部コンクリートあるいは飛沫帯のコンクリートは乾湿の繰返しを受け、塩分の蓄積や水分の補給が十分に行われる環境にあり、凍結融解作用を受けると、最も劣化されやすい部分となる。この損傷は局部的ではあるが、かぶりコンクリートの損失などに影響し、既存のコンクリート構造物のもとより、これから造られる海洋コンクリート構造物にとって重要な問題である。本研究では汀線部コンクリートの環境をシミュレートした凍結融解装置を用いて、汀線部の凍結による損傷を各種の配合を用いて実験し、その劣化進行を凍結融解回数とコンクリート中の含水率によって検討したものである。

2. 実験方法

(1) 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は鶴川産(比重2.69、吸水率1.42%、粗粒率2.56)粗骨材は静内川産(比重2.76、吸水率1.21%、粗粒率6.34)および人工軽量粗骨材(絶乾比重1.29、実積率60.2%、粗粒率6.37)を使用した。AE剤としては天然樹脂酸塩のもの(A1)および防水作用があるAE剤(A2)¹⁾を用いた。また混和材としてシリカフェュームを一部用いた。シリカフェュームを入れたものは所定のスランプを出すため流動化剤を使用した。

(2) 供試体および配合

供試体の寸法は7.5×10×40cmの直方体を用いた。水セメント比は40~55%、細骨材率45%、目標空気量5%、目標スランプ10cmとした。配合および圧縮強度を表-1に示す。練り混ぜは強制練りミキサーを用い、締固めにはバイブレータを使用した、打込み後1日は麻袋で湿潤養生し、その後試験材令28日まで20℃の水中で養生を行なった。

(3) 実験および測定

汀線部コンクリートの環境条件をシミュレートするために図-1に示すような凍結融解試験装置を用いた。コンクリートを浸漬する部分の海水を電熱線で+2℃に保持し、温度サイクルの制御は供試体の上面から1/4点の高さで供試体の中央部に熱電対を埋込み、この部分の温度を基準として行い、-20℃~+2℃で1日2サイクルの凍結融解サ

表-1 供試体の種類および圧縮強度

記号	粗骨材	W/C (%)	シリカフェューム (%)	混和剤	圧縮強度 (kgf/cm ²)
NN40	川砂利	40	0	A1	480
NN50	〃	50	0	A1	398
NN55	〃	55	0	A1	344
NS40	〃	40	5	流動化剤 + AE剤	653
NS50	〃	50	5	〃	505
NS55	〃	55	5	〃	475
LS40	人工軽量	40	5	〃	533
LS50	〃	50	5	〃	470
LS55	〃	55	5	〃	487
CM40	川砂利	40	0	A2	557
CM55	〃	55	0	A2	382

イクルとした。測定は供試体の重量 W 、動弾性係数 E_D 、供試体の表面が剥離を起こした時の凍結融解回数 N_0 、その時の釘線部の含水率 γ 、表面剥離の最大深さ δ 、および剥離片の重量 W_s を測定した。また試験終了後、供試体の絶乾重量（110°Cで1日乾燥） W_0 および剥離片の絶乾重量 W_{s0} を測定した。釘線部の含水率の状

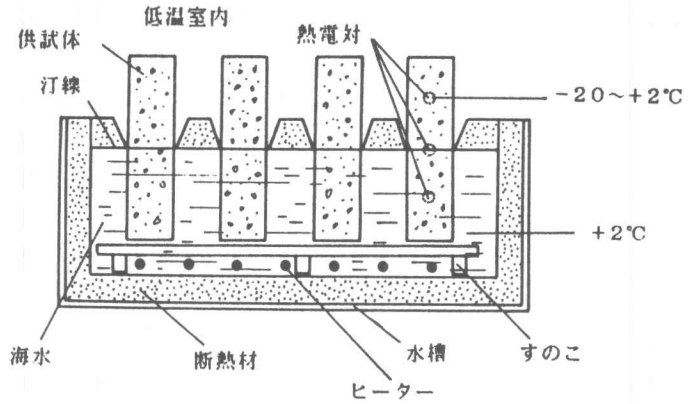


図-1 凍結融解試験装置

態は、海水に浸漬している部分における水の浸透および空中部における乾燥によって決まる。ここではこの含水状態は空中、浸漬と1/2づつに置かれている供試体の重量 W （乾燥による減少重量と浸透による増加重量の和が入っている）によって捕らえられると仮定して、釘線部の含水率 γ （%）は次のようにして求めた。

$$\gamma = \left(\frac{W + W_s}{W_0 + W_{s0}} - 1 \right) \times 100 \quad \dots\dots (1)$$

また表面剥離による劣化進行係数 D （ここで仮にこのように呼ぶことにする）を次式のように定義した。この D は最初の表面剥離発生時の N_0 および γ を基本にして、凍結融解回数に対しては N_0 の倍数に比例し、含水率に対しては $10^{\gamma/10}$ に比例するとして、これらの積によって劣化進行の指標としている。

$$D = \sum_{i=1}^n \left(\frac{N_i}{N_0} \cdot 10^{\frac{\gamma_i}{10}} \right) \quad \dots\dots (2)$$

N_0 : 表面剥離が生じた時の凍結融解回数

γ_0 : 表面剥離が生じた時の釘線部の含水率

γ : $i-1$ から i までサイクルをかけた場合の含水率の平均値

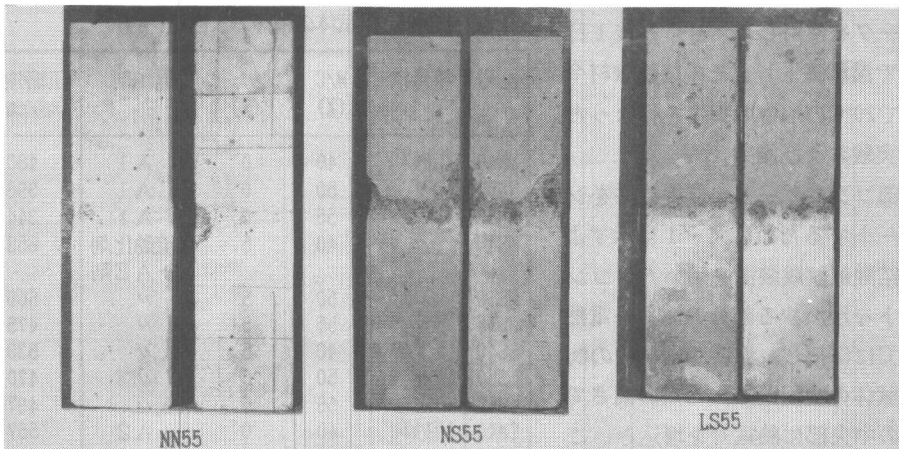


写真-1 供試体の凍害状況

Ni : i-1 からi までのサイクル数

n : 表面剥離が発生後からの全測定回数

i : 表面剥離の発生後からの測定回数

実験からえられた汀線部コンクリートのNN55, NS55, LS55の凍害状況を写真-1で示す。

3. 実験結果および考察

(1) 表面剥離発生時の凍結融解回数と汀線部の含水率

表面剥離発生時の凍結融解回数Noは図-2の示すように水セメント比によって大きな影響を受けることがわかる。5%のシリカフュームの混入の有無による差はあまり認められない。またAE剤の種類による差はあまりなかった。水セメント比が40%では剥離損傷が起こらない場合もあり、水セメント比55%程度と、40%では耐久性に大きな違いがあることがわかった。図-3は表面剥離発生時の汀線部の含水率を示したものである。水セメント比が大きくなると大きな含水率で発生する傾向を示していた。水セメント比が40%と小さい場合には小さい含水率で発生していた。これは軽微な損傷であった。全体を見て水セメント比が大きな場合には、比較的含水率の大きな状態で凍結融解回数の少ない内に剥離損傷が発生し、水セメントが小さい場合は凍結融解回数が多く、小さな含水状態で軽い損傷が発生していた。

(2) 表面剥離による劣化の進行

表面剥離による劣化の最大深さ δ を劣化進行係数Dで表わすと図-4~6のようになる。凍結融解回数は約120回である。NN40供試体では120回の凍結融解で $\delta=0.4\text{mm}$ 程度のごく軽微な損傷であった。劣化進行はほとんど進まなかった。図-4は普通骨材を用い、水セメント比50%

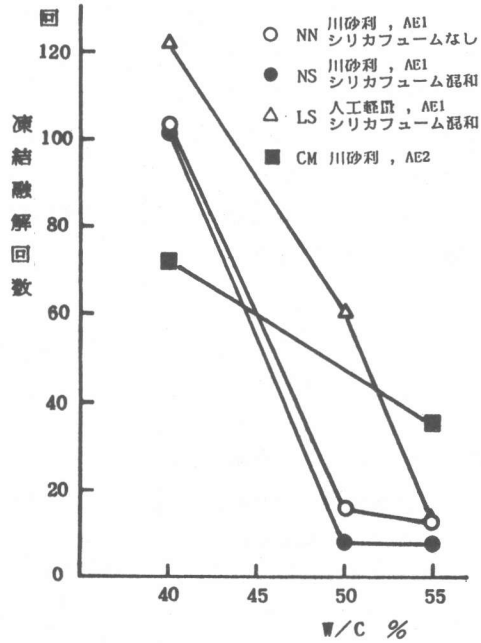


図-2 表面剥離発生時の凍結融解回数

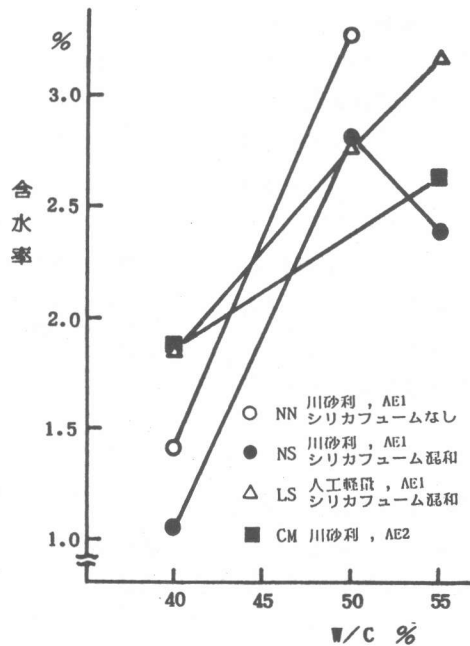


図-3 表面剥離発生時の汀線部の含水率

と55%のNN50とNN55の場合を示す。最小2乗法により、 δ とDとの関係式を求めると、それぞれ $\delta=1.25D^{0.53}$ 、 $\delta=1.20D^{0.50}$ が得られた。NN50とNN55はほぼ同じ挙動を示し、 δ はDの平方根に比例する損傷を示していた。図-5はシリカフェーム5%を混入した場合で、NS50は $\delta=0.74D^{0.62}$ 、NS55は $\delta=0.71D^{0.60}$ で水セメント比による差はあまりなかった。またNS40は損傷は発生しなかった。水セメント比40%と50%以上とは耐凍害性に対して大きな違いがある。また5%シリカフェーム混入による有無の差はあまりなかった。図-6のLS55は人工軽量骨材に5%のシリカフェームを混入した場合で $\delta=0.68D^{0.35}$ で、剥離損傷はNN55、NS55に比較して小さかった。水セメント比50%のLS50は軽微な損傷しか発生しなかった。人工軽量骨材に対するシリカフェームの効果があると思われる。CM55は防水効果のあるAE剤を用いた場合で、 $\delta=1.20D^{0.22}$ となり、剥離損傷を抑える効果があると思われる傾向を示した。また、水セメント比40%のCM40は損傷は軽微であった。

図-4はシリカフェーム5%を混入した場合で、NS50は $\delta=0.74D^{0.62}$ 、NS55は $\delta=0.71D^{0.60}$ で水セメント比による差はあまりなかった。またNS40は損傷は発生しなかった。水セメント比40%と50%以上とは耐凍害性に対して大きな違いがある。また5%シリカフェーム混入による有無の差はあまりなかった。図-6のLS55は人工軽量骨材に5%のシリカフェームを混入した場合で $\delta=0.68D^{0.35}$ で、剥離損傷はNN55、NS55に比較して小さかった。水セメント比50%のLS50は軽微な損傷しか発生しなかった。人工軽量骨材に対するシリカフェームの効果があると思われる。CM55は防水効果のあるAE剤を用いた場合で、 $\delta=1.20D^{0.22}$ となり、剥離損傷を抑える効果があると思われる傾向を示した。また、水セメント比40%のCM40は損傷は軽微であった。

4. まとめ

表面剥離が最初に発生する凍結融解回数Noとその時のコンクリートの含水率 γ を基本として求める劣化進行係数Dは、表面剥離の劣化進行を推定する場合のよい指標となることがわかった。

参考文献

1) 高田宣之ほか：海岸に曝露されたコンクリートの劣化、第3回寒地技術シンポジウム、1987、PP.455~460

謝辞：実験に対してご協力くださった久保田鉄工(株)伊吹精郎氏に感謝の意を表します。

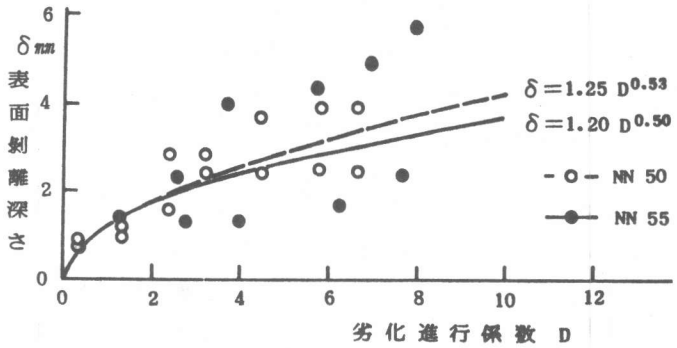


図-4 表面剥離深さの進行(NN50, NN55)

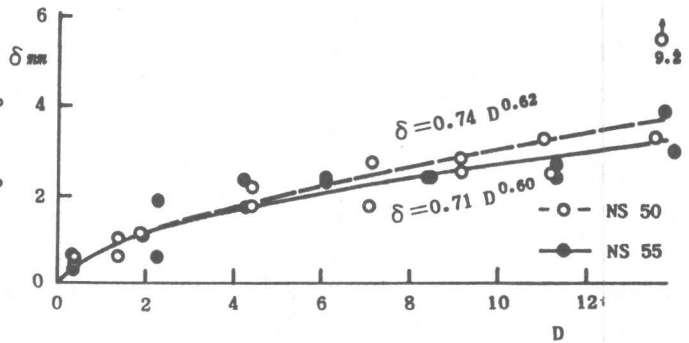


図-5 表面剥離深さの進行(NS50, NS55)

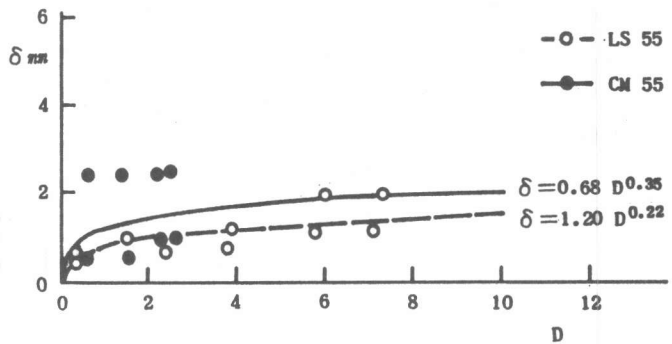


図-6 表面剥離深さの進行(LS55, CM55)