

北大工学部

正員

佐伯 昇

"

"

高田 宜之

北海道庁

神原一雄

1. まえがき

コンクリートの表層部は内外的要因によって内部のコンクリートと比較して弱い層を形成する傾向を示し、また外部の環境条件を直接に受けるため、気象作用を受けるコンクリートの耐久性を考える場合コンクリートの表層部の性状は重要な要素である。本研究では寒冷地のコンクリート海岸構造物に多く見られる表層部の剥離現象について取り上げ、その剥離挙動を明らかにするために現地観察を行い、それを基にして2, 3の基礎的な実験を行った。この現象は6〜9月頃打設した海岸構造物のコンクリートが冬期の間に表層部が剥離するもので混合セメントを用いた場合に多く見られる。その要因は材料、施工、養生およびその後の環境と多岐に渡り、最終的な原因はコンクリートの凍結融解によって起ると考えられる。ここでは主にコンクリートの表層部の強度について、養生後から凍結融解が起る前までの環境の違いによる影響、セメントの種類および表層部の厚さの影響をpenny shaped Crackを有するモデル実験によって検討したものである。またAcoustic Emission(AE)装置によってひびわれ発生挙動についても観察した。

2. 実験方法

表面剥離が発生しているコンクリート海岸構造物の観察から図-1に示すようなpenny shaped Crack¹⁾を有するモデル供試体を作製し、表面剥離に対するひびわれおよび強度の実験を行った。供試体の材料は普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントB種、粗骨材は静岡県内産砂利(最大寸法 25mm 、比重 2.77 、吸水量 1.07% 、単位容積重量 1746kg/m^3)、砂は常岡産(比重 2.77 、吸水量 1.20% 、単位容積重量 1826kg/m^3)である。配合は $\text{W/C}=55\%$ 、単位水量 132kg/m^3 、 $\text{S/A}=45\%$ 、空気量 5% 、スラン 79mm である。養生後から凍結が起る前までの環境を調べるためコンクリート海岸よう壁(湘走市騎瀨)、配合は高炉セメントB種を用い、 $\text{W/C}=53.6\%$ 、 $\text{S/A}=33\%$ 、最大骨材寸法 40mm 、単位セメント 257kg/m^3 、空気量 4.5% 、スラン 75mm 、湿潤養生7日間、壁面は北東に面している)の現地観察を行った。温度測定は構造物内に熱電対を埋設して行い、その一例を示すと図-2のようになる。表面剥離の最初の観察は打設同年の12月上旬で材令約4カ月、凍結融解の繰返し回数22回(8 mm 深さ)であった。以上の観察から実験では湿潤養生5日間、その後の環境を4種に変化させた。タイプI水中(20°C 水中)、タイプII海中(20°C 海中養生)、タイプIII乾一水中(35°C の乾燥器に8時間その後 25°C 水中に16時間のサイクルで18回)、タイプIV乾一海中(タイプIIIと同じで水の代りに海水を用いる)。材令は28日で実験を行った。人口ひびわれ内の圧力は油圧で行い、各荷重段階でAE装置によりひびわれ音を測定した。ひびわれ音を捕える感度はセンサー上面に水深 5cm の高さから落下させた打撃を捕える程度とした。

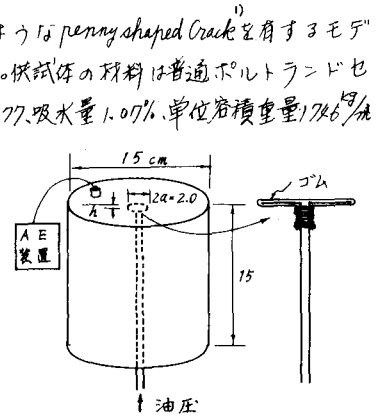


図-1 Penny shaped crack を有するモデル供試体

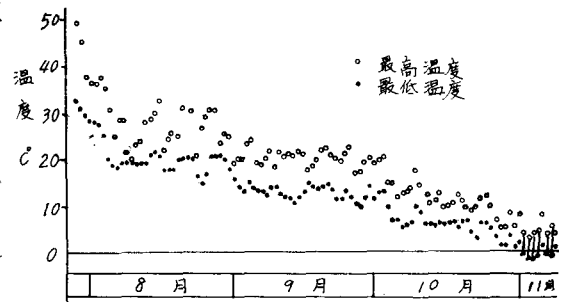


図-2 コンクリートよう壁内温度(深さ 8mm)

3. 考察及結論

(1) 現地観察による剥離片の形状は円板あるいは表面に向かって広がる円錐台形で、直径数センチ、厚さ数ミリ〜10ミリ程度である。現象としてはポッピングとスケリングの複合された形状を示し、力学的には表層部分に表面と平行な penny shaped Crack のびびわれに圧力がか加わった破壊形状を示している。写真1に示すようにモデル実験の破壊片も円錐台形に剥離し、ほぼ現地観察と同じ形状を示した。

(2) 現地観察の結果から養生後から凍結を受けるまでの環境は温度、乾燥および海水のサイクルを受け、コンクリート全体としての強度の低下はあまり起らないが、表層部は環境条件を直接受けるため劣化が進行することが考えられる。この劣化現象を力学的に検討するため、penny shaped Crack を有する供試体を用い、4つのタイプの環境を考慮して表層部分の強度を求めた。図-3に示すような特性が得られた。図-3aは図-4.5によって供試体の penny shaped Crack の深さ(h)寸法の誤差($h=20 \pm 9.0^{mm}$)を $h=7^{mm}$ に補正した後の表面剥離強度(σ_B)を示した。普通ポセを使用した場合タイプI〜IVに変化する時の σ_B が大きくなるに対して、高炉セメントB種の場合は逆に低下し、特に乾燥-海中のサイクルの低下が大きい。中10×20cmのシリンダーによる割裂強度(σ_t)を求めると図-3bとなり、高炉セメントB種ではタイプIVで多少低下する傾向を示すが、普通ポセでは減少する傾向はなく、全体の傾向としては環境によって σ_t はあまり影響を受けない。図-3cは σ_B/σ_t (σ_t は剥離強度試験後に、その供試体を用いて割裂強度を求めたもので、図-3dからわかるように σ_t とは差がない)を示す。普通ポセがタイプI〜IVに変化するに σ_B/σ_t は大きくなる傾向を示すが、高炉セメントB種は低下する傾向を示している。これは普通ポセの表層部分の強度が、供試体全体の引張強度を表示している σ_t より高まることを示し、高炉セメントB種では低下する傾向を示した。高炉セメントを使用する場合養生期間を長くする必要があると考えられる。

(3) 図-4.5は人口びびわれ深さによる剥離強度比 σ_B/σ_t を調べたもので、配合は単位水量 $130^{kg/m^3}$ 、 $S_a=4\%$ および空気量 5% は一定で養生は5日間水中その後密閉して室(20℃)に放置した。図-4の普通ポセ(N)では $W/C=0.6, 0.55, 0.5, 0.45$ 、材令21, 28, 91日のコンクリートおよびモルタル(上述の配合で粗骨材を除いた配合)をまとめたもので、図-5は高炉セメントB種で $W/C=0.6, 0.55$ 、材令21, 28, 91をまとめたものである。深さの影響は普通ポセと高炉セメントB種と差異はなく、強度比は深さにほぼ比例して大きくなる。

(4) AE装置によって各荷重段階におけるびびわれ信号音を判定した結果、びびわれが初めて発生する荷重は破壊荷重(σ_B)の0.1〜0.15 σ_B が多く、びびわれ音数がピークになるのは0.75〜0.95 σ_B であることがわかった。

(5) penny shaped Crack によるモルタルの破壊靱性 G_c (h は11〜20 mm 供試体)は $0.084^{kg/cm^2}$ で、直接引張による G_c の約10〜20倍の大きさであり、びびわれが発生しても直ぐには剥離しないことがわかる。図-4 表面剥離強度

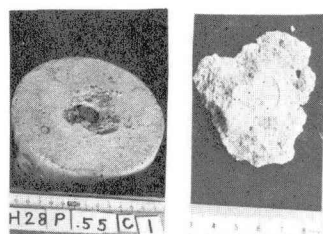


写真1 モデル実験による剥離状況

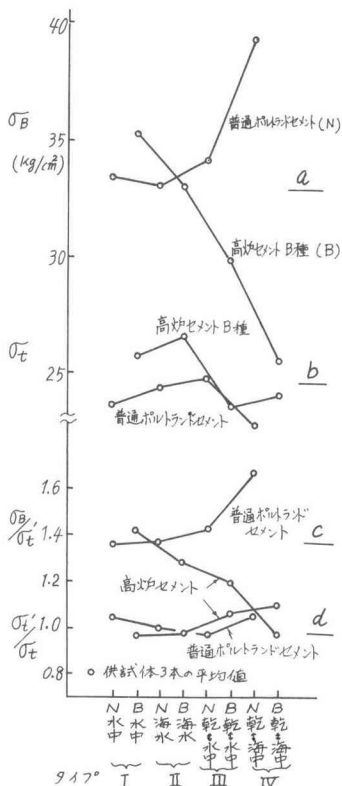


図-3 各種養生による表面剥離強度および割裂強度特性

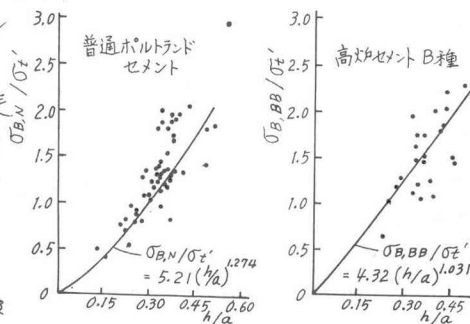


図-4 表面剥離強度

図-5 表面剥離強度