

石炭灰を用いた混合路盤材の長期性状について

北海道開発局 室蘭開発建設部 苫小牧港湾建設事務所 第2計画課 森 昌也

1. はじめに

副産物である安価な石炭灰を路盤材として使用することで、資源の有効活用、環境への配慮および工事費の削減が可能である。苫小牧港湾建設事務所では苫東厚真火力発電所2号機より排出される石炭灰と普通ポルトランドセメントを混合することにより、セメント安定処理を行った路盤材料（以下「混合路盤材」と呼ぶ）の試験施工を1998年度に苫小牧港東港区において実施し（図-1）、一軸圧縮試験等の調査を行ってきた。しかしながら、積雪寒冷な環境が混合路盤材におよぼす影響や、施工後長期が経過した路盤材の支持力に関しては、いまだに十分な知見が得られていない。

そこで本報告では、路盤材料の一軸圧縮試験および凍結融解試験による材料の長期性状を把握するとともに、外気温変化とは異なる路盤内部の温度変化を測定することで試験施工原位置での凍結融解の発生の有無を検討した。また、支持力を把握するために原位置平板載荷試験を実施した。

2. 石炭灰混合路盤材について

舗装用材料としての石炭灰の適用箇所は表層、基層、上層路盤、下層路盤、凍上抑制層等が考えられ、その利用に当たっては石炭灰単体、石炭灰と他の材料との混合材、あるいはセメントとの安定処理材としての利用形態がある。ここでは下層路盤に試験的に使用された実績が多く、既往の研究により利用できる可能性が高いことからセメント安定処理工法を選択した。

今回の試験施工の際に使用した石炭灰（ドレイトン：オーストラリア産）は95%以上が粒径0.1mm以下のシルト質である。混合路盤材は、岸壁エプロン部の1、2、3工区の上層路盤および下層路盤の6箇所でセメント添加率を5%～13%に変化させて施工した。図-2にエプロン構造断面図およびセメント添加率を示す。

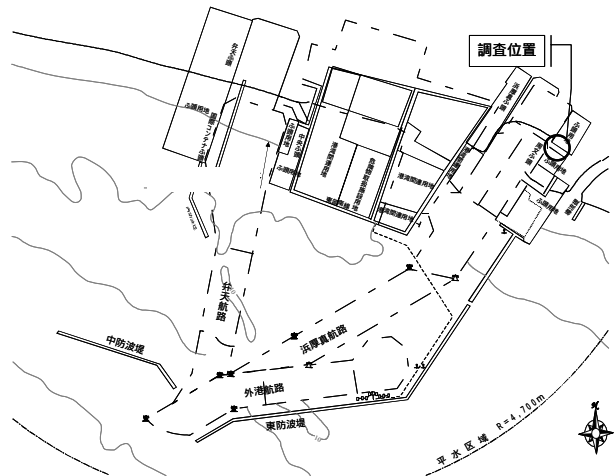


図-1 試験施工位置（苫小牧港東港）

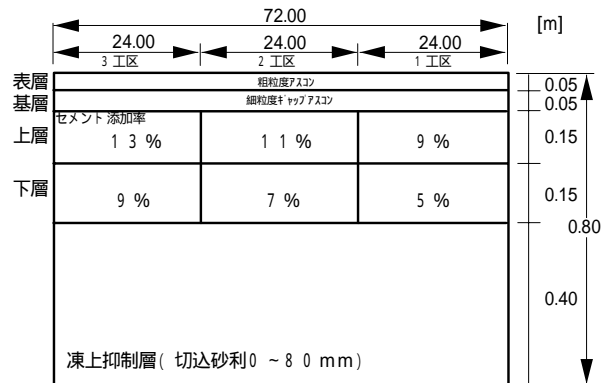


図-2 構造断面およびセメント添加率

3. 一軸圧縮試験による長期性状の検討

試験施工した混合路盤材をブロック状に採取した後に供試体を作成して一軸圧縮試験を行った。混合路盤材の一軸圧縮試験結果を図-3に示す。長期的にみると強度は増加傾向にあることから、本材料は石炭灰特有のポゾラン反応の影響により、圧縮強度の増加傾向が継続する材料であることが確認された。セメント添加率について比較すると添加率を増加させるほど強度が高くなる傾向にあり、長期間経過後もその傾向は変わらない。特に、上層路盤に対して下層路盤の方が長期間経過後に強度が増加している。これは下層路盤ほど温度変化が小さく(5章で後述)凍結融解による強度低下の程度が小さいためと考えられる。

4. 凍結融解に対する耐久性

積雪寒冷地域において混合路盤材を使用するにあたっては、材料の凍結融解作用に対する強度特性を把握することが必要である。そこで、地下水に覆われていない環境下での混合路盤材の凍結融解を再現するために、気中凍結融解試験を行った。

凍結融解試験による一軸圧縮強さと凍結融解サイクルの関係を図-4に示す。セメント添加率、上下層の条件によらず、凍結融解回数が増加するにしたがって、一軸圧縮強さが若干の減少傾向にある

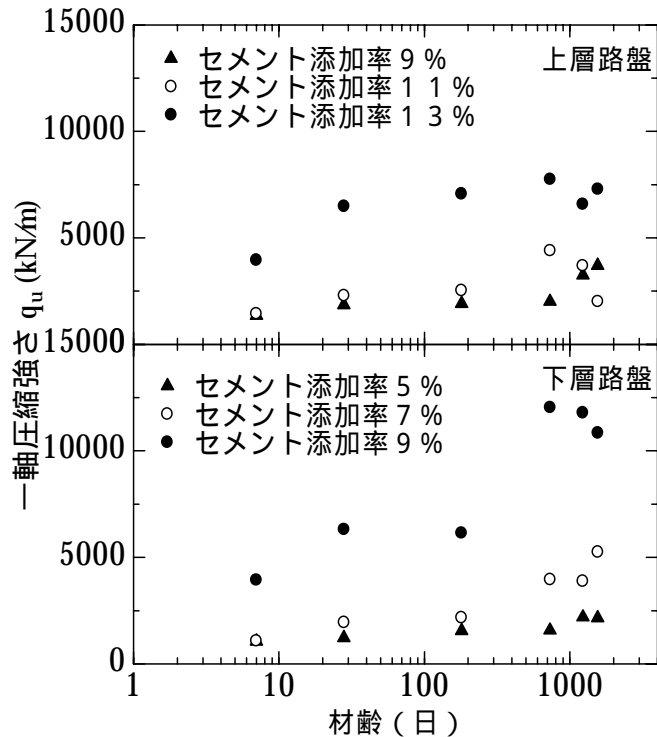


図-3 一軸圧縮強度試験

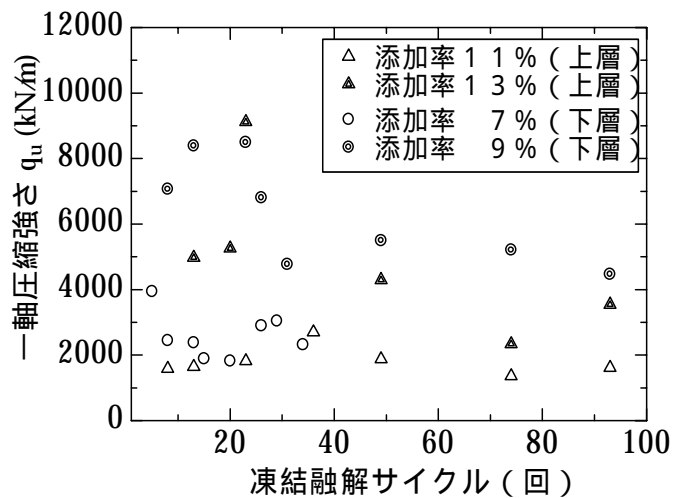


図-4 凍結融解試験結果



写真-1 温度計の設置状況

ことが分かる。

5 . 路盤内の温度測定

路盤材施工箇所では最低気温が -15° 程度まで低下するため、凍結融解作用による強度・剛性の低下が発生していると考えられるが、3章の一軸圧縮試験結果では長期的な強度の上昇を確認している。そこで、試験施工した混合路盤材内部の温度変化を測定して、凍結融解が発生する可能性を検討した。測定位置は写真 - 1 に示すように路盤上層部 (175mm)、路盤下層部 (325mm) であり温度計を埋め込んで測定した。特に気温の低かった2月16日から26日における気温、上層・下層路盤内の温度の時系列変化を図 - 5 に示す。気温と比較すると路盤内の温度は高く、一日の温度の変化がほとんどないことが分かる。測定期間において0度線を上方方向に通過したことを凍結融解発生と見なすと、外気温については18回、上層路盤内で1回、下層路盤内では発生していないことが分かった。凍結融解作用による材料劣化を考慮すると、舗装厚の確保は混合路盤材の凍結融解作用を減少させるという観点からも重要である。

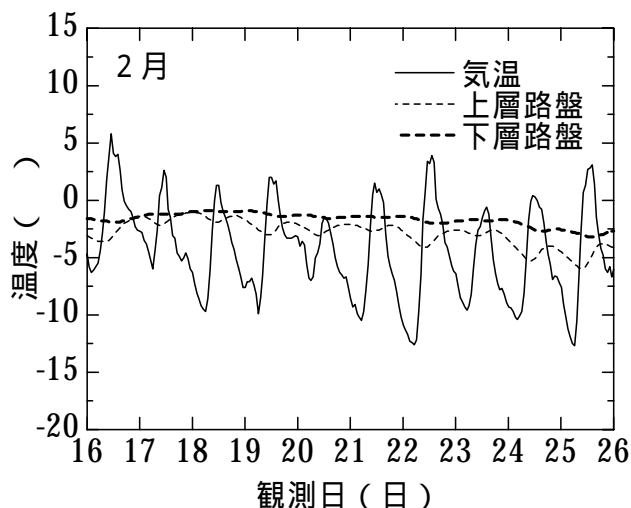


図 - 5 気温および路盤温度の変化

6 . 混合路盤材の平板載荷試験

平板載荷試験によって試験施工後約4年を経過した混合路盤材の支持力を検討した。平板載荷試験は、アスファルト舗装を $1\text{m} \times 1\text{m}$ の大きさに撤去し、上層路盤面を露出させて試験を行った。載荷箇所は、セメント添加率が小さく強度の低い1工区で実施した。試験は、上層路盤表層部のクラックが卓越した部分を含む場合とクラックを取り除いた場合の2ケースについて行った。エプロン舗装部の設計荷重は 700kN/m^2 であるが、



写真 - 2 平板載荷試験実施状況

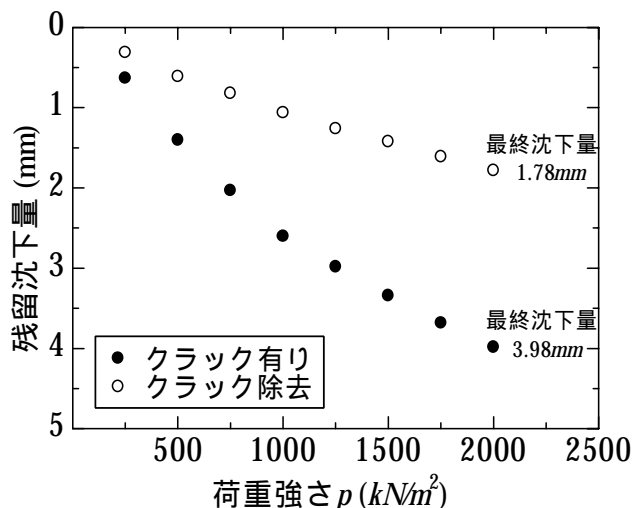


図 - 6 平板載荷試験の結果

上層路盤面では荷重分散効果によって $252kN/m^2$ の荷重が作用するため、路盤材を露出させる本実験では、設計荷重を $252kN/m^2$ とした。試験状況を写真 - 2 に示す。図 - 6 は路盤に与えた荷重と残留沈下量の関係を示している。上層路盤表層に存在するクラックの除去の有無にかかわらず、 $2000kN/m^2$ の荷重に対しても破壊しないことを確認した。舗装が破壊を起こす限界沈下量については、慣用的にはコンクリート舗装 $1.25mm$ 、アスファルト舗装 $2.5mm$ とされている。設計荷重である $252kN/m^2$ の荷重における沈下量はクラック除去前において $0.65mm$ 、除去後は $0.35mm$ であり、両ケース共に舗装が破壊に至らない沈下量である。今回の試験施工はアスファルト舗装であるが、より沈下条件の厳しいコンクリート舗装の限界沈下量の $1.25mm$ に対応する混合路盤材の支持力係数はクラック部除去前で $360 N/cm^2$ 、クラック部除去後で $1000N/cm^2$ となった。コンクリート舗装路盤の設計支持力係数の標準値である $200N/cm^2$ に対して、両ケース共に標準値を大きく上まわる値が計測された。試験結果からは、上層路盤表面のクラック部の有無により、沈下量、支持力係数に大きな差異が認められたことから、表層の劣化を防ぐことでより高い支持力、強度や沈下の抑制が期待できる。

7. 水質環境への影響

混合路盤材施工箇所周辺の岸壁前面の海水および地下水の水質調査を実施した。図 - 7 に調査結果を示す。試験施工後約 4 年が経過しているが、 pH は環境基準内にあり、かつ大きな変化は確認されないことから、環境負荷が小さいものと考えられる。

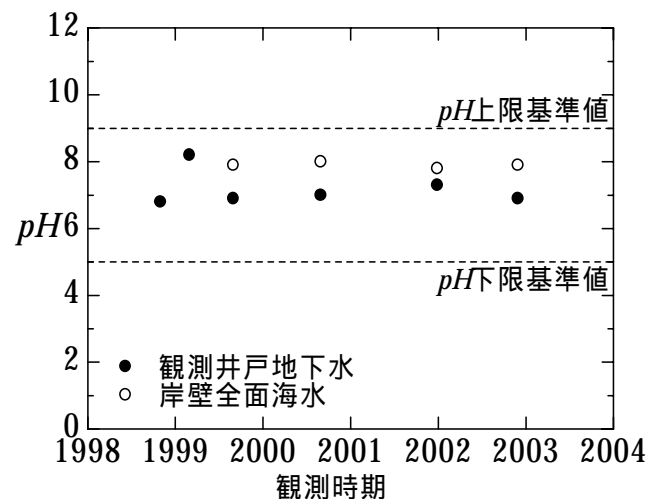


図 - 7 水質調査結果

8. まとめ

本研究より得られた結果を以下に示す。

一軸圧縮試験結果より、試験施工後 4 年程度経過した路盤材の圧縮強度は若干の増加傾向が確認された。凍結融解試験結果から、凍結融解作用により強度低下をおこしうることを確認したが、原位置温度測定結果より、混合路盤材内部の温度は周辺気温と比べて高く、一日の温度変化が小さいため、凍結融解作用の発生回数は少ないと考えられる。

平板載荷試験より、混合路盤材は $2000kN/m^2$ の荷重に対しても破壊せず、舗装の限界沈下量を考慮しても十分な剛性を有していることが確認された。

周辺部の水質調査の結果より、混合路盤材施工による周辺水質は環境基準内に収まっており、環境負荷は小さいことが明らかになった。