

苛酷環境に挑む土木技術

熊谷守晃*

1. はじめに

北海道は積雪寒冷地であり、年間降雪日数は100日を超え、最低気温も -10°C を下回るなど、厳しい気象条件下にある。そのため、橋梁などの土木構造物の建設や保全管理に際しては、寒さや雪に強い材料や工法を用いなければならず、温暖地域とは異なる土木技術が必要である。

また、北海道には泥炭性軟弱地盤が広く分布しており、道路盛土や河川堤防の建設にあたっては軟弱地盤対策を講じなければならない。

さらに北海道は急峻な地形が多く、各地域を結ぶ主要な道路は海岸線や山岳部の急崖斜面に沿った路線が多いことから、地質に応じた岩盤斜面崩壊対策を検討実施する必要がある。

2. 次世代型超耐久性コンクリートの開発

2.1 苛酷環境にある北海道のコンクリート構造物

北海道は、厳しい積雪寒冷環境にあると共に、周りを海で囲まれている。また、冬期には円滑な交通を確保するため、道路に塩化物系の凍結防止剤が散布されている。

このことは、北海道のコンクリート構造物が極めて苛酷な環境に置かれていることを意味している。北海道のコンクリート構造物の耐久性に関しては、凍害と塩害、およびそれらの複合劣化が大きな課題と言える。



写真-1 橋梁地覆コンクリートの複合劣化

2.2 小樽港百年耐久性試験¹⁾

廣井勇博士により1896年（明治29年）から始められた小樽港コンクリート長期耐久性試験（通称「百年耐久性試験」）は、コンクリートの長期挙動に関する連続的な試験としては世界最長のものである。



写真-2 小樽港百年耐久性試験のモルタル供試体

一連の試験結果から、長期にわたるモルタル供試体の強度の増加は、セメントが粗粒であったことによる水和反応の持続と、火山灰のポズラン反応効果であることが明らかになった。

さらに、コンクリートの真に長期的な耐久性を考えるためには、セメントの形態と鉱物組成に関する検討が必要であることが確認された。

2.3 次世代型汎用超耐久性コンクリートの開発

土木学会コンクリート標準示方書が、平成11年度版として大幅に改訂された。仕様設計から性能設計へ転換され、凍害や塩害に対する耐久性の規定が強化された。そのため、厳しい環境下では、これまで用いられてきたコンクリートだけでは長期耐久性を確保することが困難となった。

その対策として、従来のコンクリートの耐久性を大きく超える次世代型汎用超耐久性コンクリートの開発に取り組んだ。

小樽港コンクリート長期耐久性試験から得られた教訓と技術的状况を考慮して、ビーライト系セメントに着目し、このセメントが有する多様な性能を明らかにするため、粒度や鉱物組成の改質を

行い、それらを用いたコンクリートの基本特性について広範な検討を行った。

また、耐久性向上の観点からは混和材の利用が有効と考え、ビーライト系セメントの一部を比表面積の異なる高炉スラグ微粉末で置換したコンクリートについても検討を行った。

その結果、高微粉末化したビーライト系セメントに高炉スラグ微粉末（以下「スラグ」という。）を加えることで、低発熱・高強度・高流動を可能とする新しいセメントを創製するに至った。

なお、産業副産物であるスラグの利用は、循環型社会の形成に寄与するだけでなく、セメント製造に伴う二酸化炭素の排出抑制を可能とするなど、環境負荷低減の面からも極めて有用と考えられる。

2.4 高強度・高耐久性を実現

開発したセメントを用いたコンクリートの強度および耐久性の試験結果の一例を紹介する。

図-1に圧縮強度と材齢の関係を示す。これから、ビーライト系セメントの高微粉末化（以下「改質ビーライト」という。）や粉末度の異なるスラグを組み合わせることにより、初期や長期の強度発現性を多様化できることがわかる。

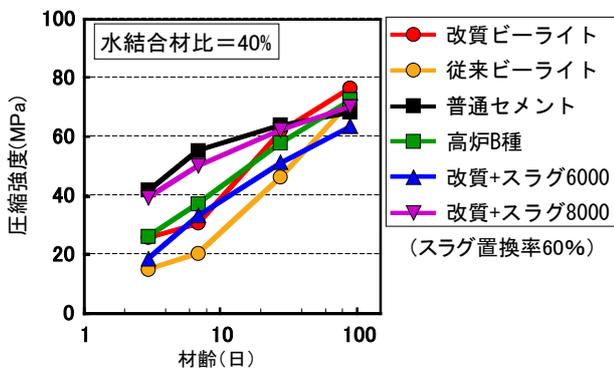


図-1 ビーライト系セメントを用いたコンクリートの圧縮強度

図-2に塩水を用いた場合のスケーリング抵抗性を示す。高炉B種セメントは一般に遮塩性が高いことが知られているが、スケーリング量は最も多くなった。これに対し、改質ビーライトとスラグを組み合わせた場合、スケーリングが極めて抑制されることが明らかとなった。

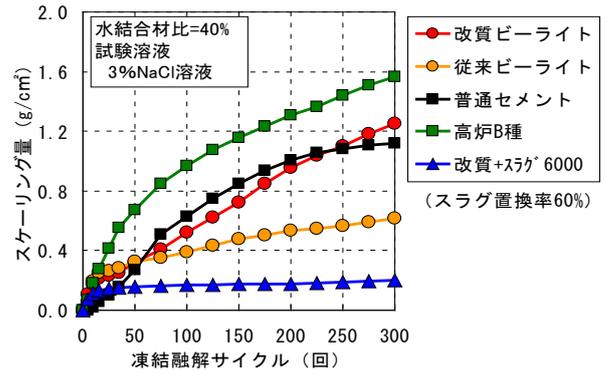


図-2 ビーライト系セメントを用いたコンクリートのスケーリング抵抗

2.5 北海道から発信する世界基準の技術

このように、開発したセメントを用いることで、多様な要求性能に応じたコンクリートの製造が可能となる。近い将来このようなセメントが実用化されることにより、コンクリートの耐久性の劇的な向上が期待される。

これは世界に先駆けて北海道で取り組んだ技術であり、コンクリート分野で北海道から世界へ発信した世界基準の技術と言える。²⁾

3. 大規模岩盤斜面崩壊対策³⁾

3.1 岩盤斜面崩壊

北海道では、平成8年の豊浜トンネル崩落事故の後にも、島牧村第2白糸トンネル、北見市北陽地区、えりも町などで、大規模岩盤崩壊や落石等の道路災害が続いており、このような災害に対する道路の安全性向上が強く求められている。



写真-3 大規模な岩盤斜面崩壊

3.2 道路防災工の合理化・高度化

落石等が想定される場合の対策の一つに、道路防災工（落石覆道や落石防護擁壁など）があり、現在これらは許容応力度法で設計されている。

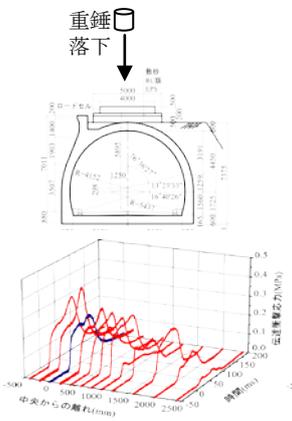
既設の道路防災工において、設置後の点検等により、設計時の規模を上回る落石等が見込まれた場合における、適切かつ合理的な終局耐力の評価手法や補修・補強工法はまだ確立されていない現状にある。

このため、道路防災工の性能照査型設計法（限界状態設計法）の確立や、適切な終局耐力の評価手法の開発、既設構造物の合理的な補修・補強工法の開発等を目指し、道路防災工の合理化・高度化に資する研究を実施している。

3.3 実構造物への重錘落下衝撃実験

落石衝撃を受けた場合の道路防災工の挙動を解明するため、RCアーチ構造物に対し落石を模擬した重錘落下衝撃実験を行った。

実験は小型模型だけではなく、実大規模の部材試験体、さらには廃道区間の実構造物（RCアーチ構造のトンネル巻出工）（図-3）についても実施しており、その挙動の解明が進展しつつある。



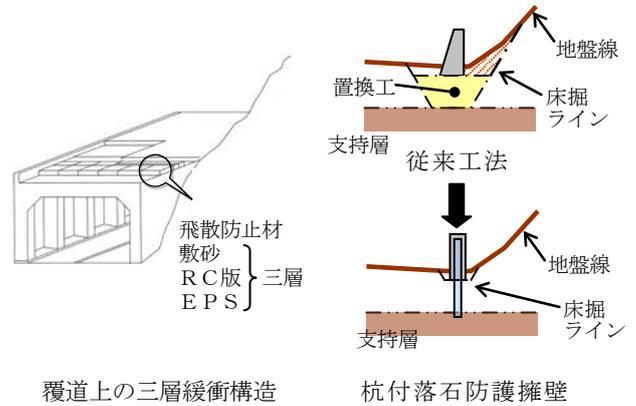
得られた伝達衝撃応力データの例

図-3 廃道区間の実構造物への重錘落下衝撃実験

3.4 研究成果と今後の展望

これまで、敷砂緩衝材よりも緩衝・分散性能に優れた砂・RC版・EPS（発泡スチロール）からなる三層緩衝構造や、支持地盤が深い場合や用地制約がある箇所でもコスト縮減等に寄与する杭付落石防護擁壁、RCやPC構造に比べ軽量で靱性に富む鋼・コンクリート合成落石覆道（サンドイッチ覆道）など数々の研究開発を行ってきた（図-4参照）。

今後にも得られた知見を基に、衝撃実験や数値解析等を実施し、性能照査型設計法の確立や、適切な終局耐力の評価手法の開発、既設構造物の合理的な補修・補強工法の開発を目指し、研究の推進に努める所存である。



覆道上の三層緩衝構造

杭付落石防護擁壁

図-4 研究開発成果の一例

4. おわりに

寒地基礎技術研究グループは、このように気象条件、地形・地質条件的に苛酷な環境下における土木技術について、構造、材料、土質、基礎、地質の各分野で研究開発を進め、土木構造物の建設や保安全管理に貢献すべく鋭意努力している。

参考文献

- 1) 長瀧重義監修：コンクリートの長期耐久性 [小樽港百年耐久性試験に学ぶ]、技報堂出版、1995.1
- 2) 名和豊春、吉田 行：高炉スラグと合体したベアライト系セメントー北海道発世界基準の高強度・高耐久性コンクリート用セメントの開発一、土木学会誌、pp.31-32,2007.1
- 3) 今野久志ほか：道路防災工の技術開発、(社)土木学会北海道支部創立70周年記念誌、pp.64-67、2007.11

熊谷守晃*



独立行政法人土木研究所
寒地土木研究所
寒地基礎技術研究グループ長
Moriaki KUMAGAI