

平成23年度

北海道沿岸のコンクリートに施工されて20年が経過したウレタン被覆材の耐久性調査

(独) 土木研究所寒地土木研究所 道央支所 ○川村 浩二
(独) 土木研究所寒地土木研究所 耐寒材料チーム 遠藤 裕丈
(独) 土木研究所寒地土木研究所 耐寒材料チーム 田畑浩太郎

コンクリートの損傷の原因となる水や塩化物イオンの侵入を防止し、コンクリート構造物を保護する対策の一つに表面被覆工法がある。しかし、被覆材に浮きや剥がれなどの変状が発生している事例も確認されており、被覆材の損傷を抑制するための留意点等を明らかにする必要がある。そこで、適切な表面被覆工法の設計施工法の確立に向けて、波浪による侵食を受けやすい北海道沿岸のコンクリート部材に施工されて20年が経過したウレタン被覆材を対象に耐久性調査を行った、その結果、周辺の環境条件によって劣化の進行に有意差が生じることを確認した。

キーワード：コンクリート構造物、保護、ウレタン被覆材

1. はじめに

我が国では、これまでに多くのコンクリート構造物が建設されてきた。今後はコンクリート構造物の維持管理および更新に必要な費用の増加が予想される。しかし、財政の逼迫など我が国を取り巻く社会情勢は非常に厳しく、コンクリート構造物を解体して新たに造り直す従来型の対応は容易ではない。このため、コンクリート構造物の長寿命化を図り、ライフサイクルコストの縮減に努めることが喫緊の課題となっている。とりわけ寒冷地では凍結融解と塩化物の複合作用を受けやすく、これらの作用からコンクリートを保護するための適切な対策工が求められる。

これらの背景に鑑み、近年、劣化因子である水や塩化物イオンの侵入を抑制する機能を有する種々の表面保護工法が開発・提案され¹⁾、様々なコンクリート部材に適用されている。例えば北海道内の沿岸部の道路橋には、波浪による大きな水圧や侵食を受けやすい環境下の橋台コンクリートにはウレタン系の表面被覆材が施工されている事例がある。ウレタンは耐水性、伸び性能に優れ²⁾、吹き付け施工のため部材の形状が複雑でも継ぎ目なく連続的に施工を行うことができる。しかし一方で、施工したウレタン被覆材が損傷している事例も確認されている。また、実際の寒冷環境下でのウレタン被覆材によるコンクリート構造物の耐久性向上効果に関する情報も十分整理されていない。このため、寒冷地でのウレタン被覆材の適用性および効果を評価し、適切な耐久性設計法を確立する必要がある。

そこで本報では、ウレタン被覆材によるコンクリート構造物の耐久性向上効果の評価および適切な設計施工法の確立に必要なデータを得ることを目的に、一例として波浪などの作用による損傷の抑制を図るためにウレタン被覆材を試験施工して20年が経過した北海道沿岸のコンクリート部材を事例に調査および検討を行ったので、その結果を報告する。

2. 調査概要

(1) 調査箇所

調査は、北海道神恵内村の海岸に面する一般国道229号（小樽開発建設部管内）の直立型消波擁壁の脚柱（1988年建設、以下、脚柱と記す）で行った。図-1に神



図-1 神恵内村の位置



上：消波擁壁の全景、右下：消波擁壁の内側
(波の吸収によって越波の抑制が図られている)

写真-1 調査箇所全景

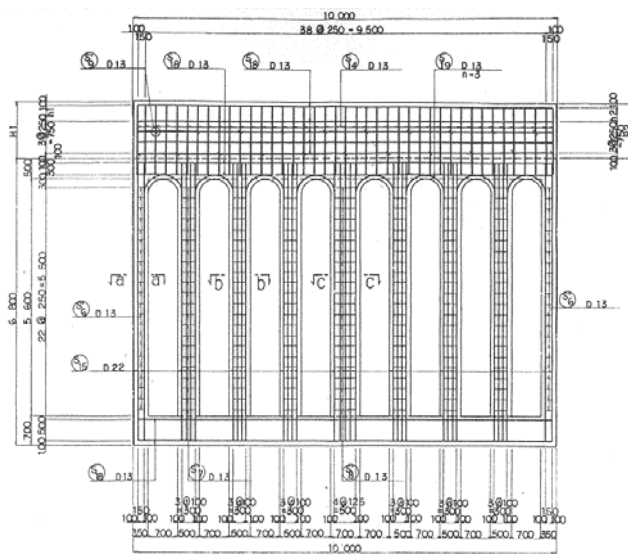


図-2 脚柱の一般図 (海側から見た図)

恵内村の位置、写真-1 に調査箇所の全景、図-2 に脚柱の一般図を示す。消波擁壁は、幅 500mm、奥行き 700mm の脚柱が 700mm 間隔で設置されたスリット状の構造となっており、打ち寄せられる波を擁壁内部に吸収することで越波による路面冠水を防ぐ役割を担っている。

これらの脚柱は、波浪などによる衝撃を幾度も受ける非常に厳しい環境下に曝されている。本調査では、時化時は波の作用を直接的に受けやすい、海面に近い脚柱の下方部に試験施工されたウレタン被覆材について調査を行った。

ウレタン被覆材の試験施工は、脚柱建設から3年後の1991年12月12日に施工された。なお、当時の工事記録は残されておらず、コンクリートの状態や施工手法および材質については不明である。

(2) 調査内容

調査は、2011年8月31日に大天狗覆道の積丹側口から

積丹トンネルの神恵内側口までの間にある192箇所の脚柱で行った。なお、調査に先立ち、大天狗覆道に近い脚柱から順に1から192の脚注番号を付した。本研究では目視により、個々の脚柱に施工されたウレタンの状態（浮き、裂き、剥離損失）および脚柱の環境状態（堆石状況等）を各脚柱の海側と山側において調査した。また、調査では、脚柱から水辺までの距離も併せて



写真-2 コンクリート面の劣化状況



写真-3 外見上、損傷が見受けられなかったウレタン被覆材



写真-4 ウレタン被覆材が剥離損失した脚柱のコンクリート面(1)



写真-5 ウレタン被覆材が剥離損失した脚柱のコンクリート面(2)

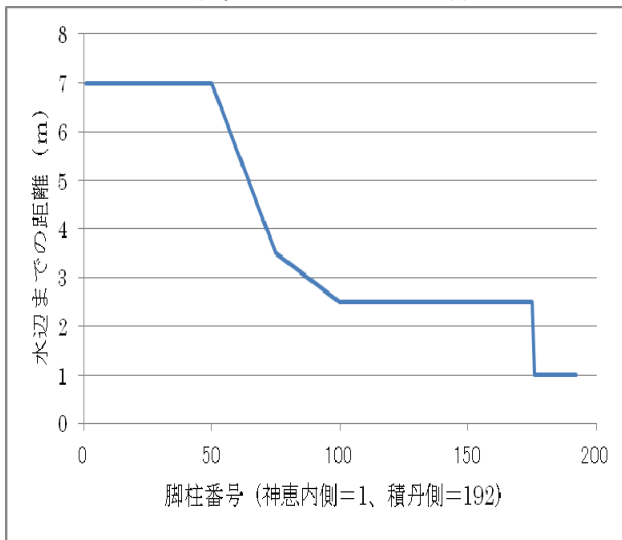


図-3 脚柱から水辺までの距離

測定した。

3. 調査結果および考察

(1) 目視観察

写真-2のようにウレタン被覆材が施工されていないウレタン上方のコンクリート面には、損傷が多く見られた。一方、写真-3のようにウレタン被覆材によって脚柱の損傷が抑制されていた箇所や、写真-4のようにウレタン被覆材が剥離したコンクリート面が健全に近い状態で残っている箇所も確認された。しかしながら、写真-5のように、ウレタン被覆材が剥離した箇所の中には、被覆されていた箇所のコンクリート面の擦り減り程度が大きい脚柱も見受けられた。

これらのことから、ウレタン被覆材が有効に機能した場合、コンクリート部材の擦り減り劣化を抑止する一定の効果を概ね期待できることがわかった。

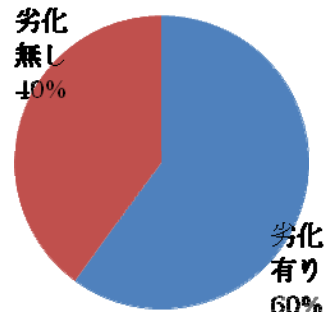


図-4 浮き劣化 海側(脚柱から水辺まで 7m)

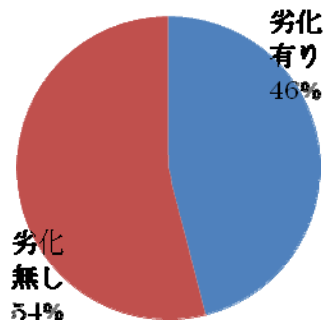


図-5 裂き劣化 海側(脚柱から水辺まで 7m)

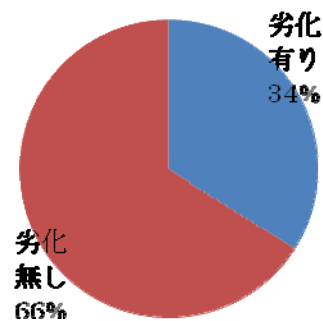


図-6 浮き劣化 山側(脚柱から水辺まで 7m)

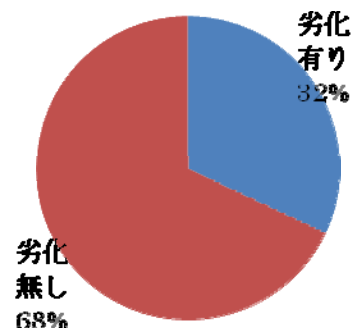


図-7 裂き劣化 山側(脚柱から水辺まで 7m)

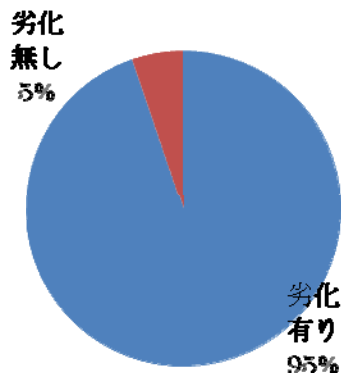


図-8 浮き劣化 海側(脚柱から水辺まで 2.5m)

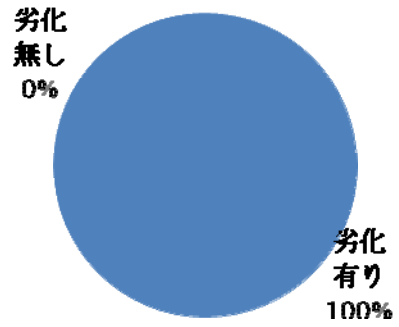


図-12 浮き劣化 海側(脚柱から水辺まで 1m)

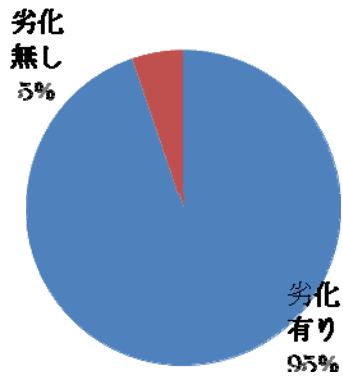


図-9 裂き劣化 海側(脚柱から水辺まで 2.5m)

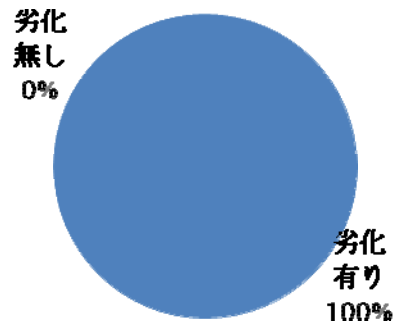


図-13 裂き劣化 海側(脚柱から水辺まで 1m)

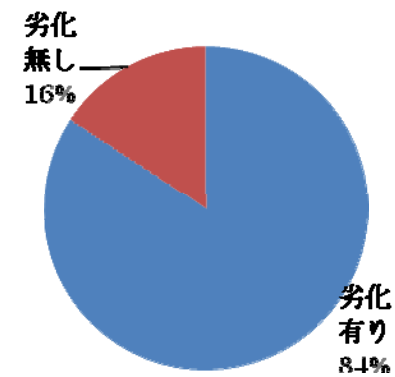


図-10 浮き劣化 山側(脚柱から水辺まで 2.5m)

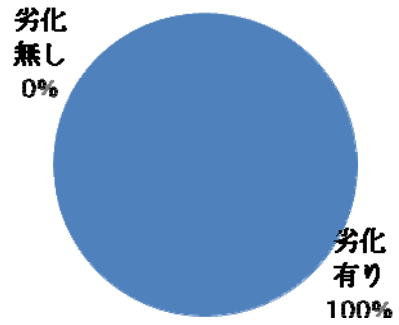


図-14 浮き劣化 山側(脚柱から水辺まで 1m)

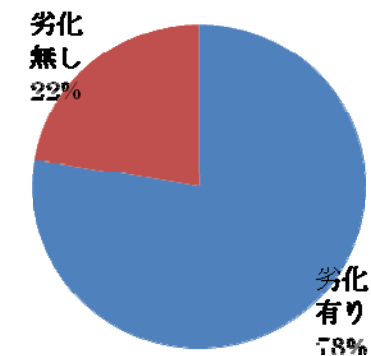


図-11 裂き劣化 山側(脚柱から水辺まで 2.5m)

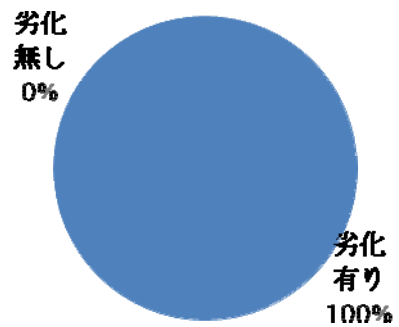


図-15 裂き劣化 山側(脚柱から水辺まで 1m)



写真-6 ウレタン被覆材が浮き劣化した脚柱の一例



写真-7 ウレタン被覆材が裂き劣化した脚柱の一例

図-3に脚柱から水辺までの距離の測定結果、図-4～15にウレタンの損傷に及ぼす水辺までの距離の影響について整理した結果を示す。

(脚柱番号1～50を図-4～7、脚柱番号100～175を図-8～11、脚柱番号176～192を図-12～15に整理)

水辺までの距離が7m有る箇所では、図-4、5に示すように浮きによる劣化箇所が60%、裂きによる劣化箇所が46%存在した。一方、山側では、図-6、7に示すように浮きによる劣化箇所が34%、裂きによる劣化箇所が32%存在し、劣化有りの割合は海側に比べると小さかった。これは、山側は、波浪による水圧や玉石の衝撃および紫外線劣化等を受けやすい海側に比べると劣化に及ぼす環境負荷が小さいことを示している。

水辺までの距離が2.5m箇所の海側については、図-8、9に示すように浮きおよび裂きによる劣化箇所が共に95%で前述した7mの箇所に比べると劣化有りの割合は高く、山側においても図-10、11に示すように、浮きによる劣化箇所が84%、裂きによる劣化箇所が78%確認された。

さらに、水辺までの距離が1mの箇所については、図-12～15に示すように、海側、山側共に全ての脚柱で浮き

および裂きによる劣化が確認された。

(2) ワイブル分布による解析

目視観察の結果から、調査対象としたウレタン被覆材は施工後からの経過年数は同じであるものの、玉石が多く堆石している(水辺までの距離が長い)箇所では損傷の程度が比較的小さく、波浪による水圧および玉石の影響が大きいことが示唆された。

そこで、ウレタン被覆材の損傷を水圧および玉石の衝撃を繰り返し作用による疲労的な破壊と捉えて、損傷に及ぼす水圧および玉石の衝撃の影響について考察を行った。

一般に物体の寿命を確率統計的に予測する際、式(1)に示すワイブル分布を用いた解析が行われる場合が多い。

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m\right] \quad (1)$$

ここに、 $F(t)$ は信頼度関数すなわち損傷する確率、 t は経過時間、 m は形状母数、 η は尺度母数である。

本研究では、ウレタンの損傷を負荷の継続的作用による疲労破壊と捉え、ワイブル分布を適用した考察を試みた。

式中の t は、実質的には負荷の履歴を表している。ここでは、水圧および玉石の衝撃の程度は脚柱から水辺までの距離に依存すると考え、水辺までの距離が長いほど負荷の履歴が小さくなることを前提とした式(2)を定義し、この式を用いて解析を試みた。

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{7-l}{\eta}\right)^m\right] \quad (2)$$

ここに、 l は脚柱から水辺までの距離(m)である。

図-3でも示したように、調査箇所における脚柱から水辺までの距離の最大値は7mであったことから、ここでは式(1)の t を $7-l$ に置き換え、距離が短くなるほど負荷の履歴は大きくなる形で表現した。一方、 $F(t)$ については、損傷が全く確認されなかった箇所は0、浮き、剥離、損失等が確認された箇所は損傷の程度を問わず、一律1と定義した。これらの解析条件のもとで、取得データの回帰分析を行って m と η を算出し、水辺までの距離と損傷の関係について調べた。

前述の目視調査では、ウレタン被覆材の損傷形態として、ウレタン被覆材が浮いているもの、裂けているもの、損失しているものの3パターンを確認した。そこで、ウレタン被覆材が損傷に至るプロセスは、①水の浸透等に

よってウレタン被覆材に浮きが生じ、その後、剥離・損失に至る、②波浪による水圧や玉石の衝撃によってウレタン被覆材が裂け、その後、剥離・損失に至る2つのケースが存在すると考え、以下に示す2つのケースごとにそれぞれ解析を行った。

解析対象ケース1) -ウレタン被覆材の浮き+剥離

解析対象ケース2) -ウレタン被覆材の裂き+剥離

解析結果を図-16に示す。海側に施工されたウレタン被覆材は、距離1~6mの範囲で損傷する確率が0.9程度と高い値を示し、水辺までの距離が長い段階から損傷する確率が顕著に大きく表れる特徴的な傾向が得られた。これに対し、山側に施工されたウレタン被覆材は、水辺までの距離の減少に伴って損傷の確率が徐々に大きくなり、海側に比較すると曲線は、なだらかに上昇する解析結果が示された。

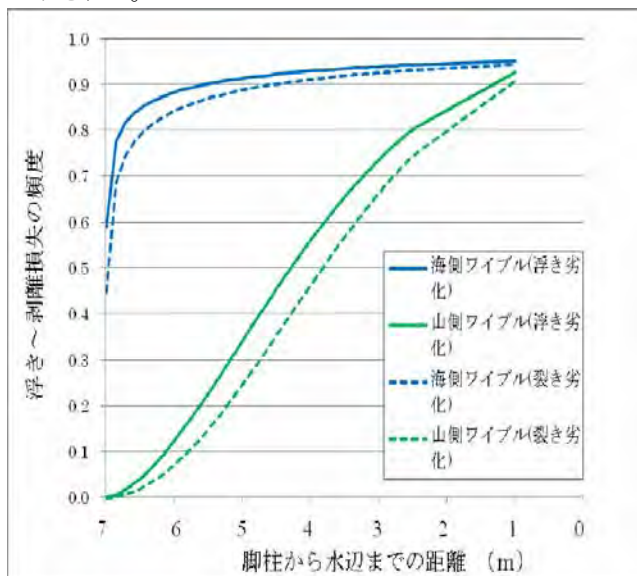


図-16 ワイブル分布による解析結果

このことから、波浪による水圧および玉石の衝撃はウレタン被覆材の劣化に多大な影響を与えることが定量的に示された。

また、グラフから、ウレタン被覆材は浮きに起因する損傷の方が裂きに起因する損傷よりも生じやすいことが伺われる。しかしながら、両者の損傷確率の差は僅かであることから、ウレタン被覆材の劣化形態は、浮きに起因するものと裂きに起因するものがほぼ同一の確率で発生すると考えられる。

前項で述べた目視調査で確認した現場の状況から、ウレタン被覆材が浮きに至ったプロセスの一つとして、コンクリートが種々の環境因子の作用を受けて劣化し、これによってウレタン被覆材の端部剥離および水の浸入が容易に発生・進行しやすくなることが想定される。

また、波浪に伴う玉石等の衝撃を受けやすい場合は、ウレタン被覆材の裂きに繋がること、さらには浮き劣化が誘発されることも考えられる。

ウレタン被覆材に浮きや裂きが発生した場合、保護対象であるコンクリート構造物への被害が高まるのは明確であるため、ウレタン被覆材の進行を抑制するための何らかの対策が必要と考えられる。

4. まとめ

ウレタン被覆材によるコンクリート構造物の耐久性向上効果の評価および適切な設計施工法の確立に必要なデータを得ることを目的に、一例として波浪などの作用による損傷の抑制を図るためにウレタン被覆材を試験施工して20年が経過した北海道沿岸のコンクリート部材を事例に調査および検討を行った。得られた知見をまとめると、以下の通りである。

- (1) ウレタン被覆材は、表面の材質的な劣化は見受けられたものの、水辺までの距離が7mの箇所においては、海側で半数程度、山側で7割弱のウレタン被覆箇所が健全な状態であり、コンクリート構造物を保護する一定の役割を果たしていた。しかしながら、水辺までの距離が短くなるにつれて劣化無しの割合が小さくなり、1mでは全ての脚柱で劣化が認められた。
- (2) ウレタン被覆材の損傷する確率をワイブル分布により解析した結果、波浪による種々の衝撃作用がウレタン被覆材の劣化に影響を与えていることが示唆された。

5. 今後の課題

本調査では表面被覆工法の一つであるウレタン被覆材に着目し、施工後20年を経た実環境下での評価を行った。

その結果、周辺的环境条件によって劣化の進行に有意差が生じることが確認できた。

今後は、ウレタン被覆材とコンクリートの界面から生ずる浮きの抑制対策として、水分供給抑制効果の高いシラン系表面含浸材を活用したウレタン被覆材端部の付着強度の低下防止対策に関する検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 土木学会：表面保護工法設計施工指針(案)，コンクリートライブラリー119，2005.4
- 2) 土木学会：コンクリートの表面被覆および表面改質に関する技術の現状，コンクリート技術シリーズ 58，pp.18-19，2004.2