

海洋環境に 21 年間暴露した水中不分離性コンクリート被覆防食の耐久性と防食効果

吉川海事興業（株） 正会員 ○増田 和広 （独）港湾空港技術研究所 正会員 審良 善和
（独）港湾空港技術研究所 正会員 岩波 光保 （株）金杉商工 阿部 正美
九州大学大学院 正会員 濱田 秀則

1. はじめに

（独）港湾空港技術研究所の波崎海洋研究施設碎波帯観測用栈橋の基礎鋼管杭に各種防食工法を適用し、実構造物による長期暴露試験を行っている。本報告は、これらの試験のうち、暴露 21 年経過した水中不分離性コンクリートを用いた鉄筋コンクリート被覆防食の中間報告である。

この観測栈橋は茨城県の鹿島灘（茨城県神栖市）に位置し、太平洋に面した海浜に汀線直角方向に突き出すように建設されている。観測栈橋の全長は 427m で、本試験の対象杭は栈橋の陸側端部から約 363m、海側先端から約 64m の位置にある（写真-1）。この対象杭に、スタッドジベル、鉄筋を配置し、水中不分離性コンクリートによる被覆防食を施した。この工法は、防食層を RC 構造とすることで鋼材の防食に加え、補強対策として適用できるものである。暴露 21 年目に、被覆コンクリートのコアサンプリングをして、各種の試験を行った結果をもとに、高波浪条件下に施工された水中不分離性コンクリートの長期耐久性および鋼材の防食効果について検討した。



写真-1 観測栈橋と試験対象杭位置

2. 試験概要

図-1 に示すように、暴露試験体は-1.23m～+1.27mの範囲に施工し、また、上部の約 35cm の範囲は 1998 年に打ち替えたものである。コンクリートの材令が 21 年と 6 年の範囲（以下、それぞれ「N-21y」、「B-6y」という。）が存在している。被覆厚は 150mm で内部構造は写真-2 のとおり鋼管杭にスタッドジベル(M16×70：350 本)を溶接し縦横に鉄筋(D25：218.3kg,D10：17.0kg, SD295A)を配置した。内部鉄筋のかぶりは 80mm である。コンクリートは、レディミクストコンクリートに増粘材と高性能減水剤を現場で添加し作製した水中不分離性コンクリートを用い、鋼製型枠内に N-21y は海水位が L.W.L.付近まで下がった際にコンクリートポンプ車により型枠上端部から打設、B-6y は、型枠内部の海水を除去した状態で打設した。コンクリートの配合を表-1 に示す。いずれも設計基準強度は 24N/mm²、目標フローが 50cm で、セメントは N-21y には普通ポルトランドセメント、B-6y には高炉セメント B 種を使用した。Gmax は N-21y が 25mm、B-6y が 20mm である。この暴露試験体の海側面と陸側面の 2 方向から各 2 深度(+1.1m=B-6y,+0.7m=N-21y)について 2 本ずつのコンクリート コア(φ 50mm)を採取し、試験材齢時の

表-1 コンクリートの配合

		N-21y	B-6y
呼び方		24-(50)-25N	24-(50)-20B
目標空気量(%)		4.0	4.0
W/C(%)		50.5	46.0
s/a(%)		40.0	40.0
単位量 (kg/m ³)	水	240	215
	セメント	475	467
	細骨材	592	611
	粗骨材	906	948
	AE 減水剤	5.25 ml/m ³	4.67 ml/m ³
増粘材(kg/m ³)※1		3.8	2.5
高性能減水剤(l/m ³)※2		4.75	10

※1 増粘材は、N-21y がアクリル系、B-6y がセルローズ系である。
※2 高性能減水剤は、いずれもメラミンスルホン酸系である。

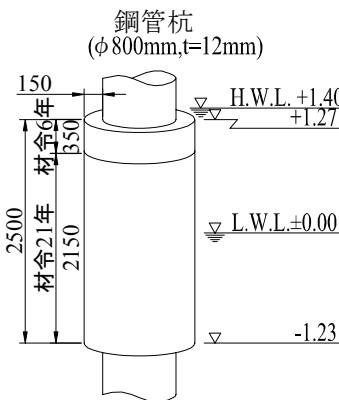


図-1 被覆防食範囲

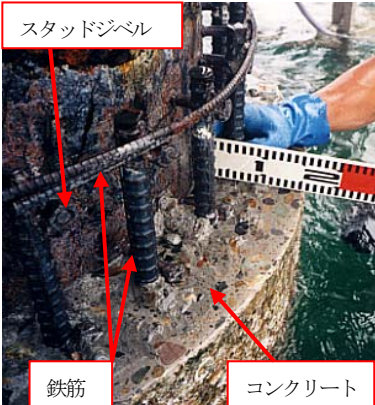


写真-2 内部構造

この暴露試験体の海側面と陸側面の 2 方向から各 2 深度(+1.1m=B-6y,+0.7m=N-21y)について 2 本ずつのコンクリート コア(φ 50mm)を採取し、試験材齢時の

キーワード 海洋暴露、塩害、中性化、水中不分離性コンクリート、無機被覆防食

連絡先 〒221-0045 横浜市神奈川区神奈川 2-8-8 吉川海事興業(株)工事部 TEL 045-451-1104

圧縮強度、静弾性係数、中性化深さ、塩化物イオンの浸透性状について調査を行った。

3. 試験結果及び考察

3.1 圧縮強度及び静弾性係数

圧縮強度は B-6y が 40.0N/mm^2 、N-21y が 25.6N/mm^2 であった。静弾性係数は、B-6y が 30.0kN/mm^2 、N-21y が 25.0kN/mm^2 であった。これらのコンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係を図-2 に示す。水中不分離性コンクリートの静弾性係数は通常のコンクリートと比較して、若干小さいとされているが¹⁾、本試験体については顕著な差は見られず、波浪海域に長期暴露された場合も、圧縮強度、静弾性係数のいずれも十分な性能を確保していた。

3.2 中性化深さ

フェノールフタレイン法によって中性化深さを測定した。その結果、B-6y が 0mm 、N-21y が 2.0mm であった。干満帯および海中部のコンクリートは、海水の影響を受けるため含水率が高く、中性化の進行は非常に遅い。なお、N-21y の中性化速度係数は、 $0.436\text{mm}/\sqrt{\text{年}}$ となった。

3.3 塩化物イオンの浸透性状

JIS A 1154:2003 に準拠し、全塩化物イオン濃度の測定を行った。図-3 にコンクリート中の塩化物イオン濃度分布を示す。N-21y では多少のばらつきはあるが、コンクリート表面から内部まで 20kg/m^3 程度の高い塩化物イオン濃度となった。鉄筋の腐食発生限界塩化物イオン濃度は、 $1.2\sim 2.4\text{kg/m}^3$ 程度とされている²⁾。鉄筋位置の塩化物イオン濃度は、これより明らかに高かった。しかし、コア採取後の孔から鉄筋及び鋼管杭表面の状態を目視観察したが、いずれも発錆は認められなかった。これは、本試験の適用範囲が海中部から干満帯であったため、部材

が水中に没している時間が長く、酸素の供給が少なかったためであると考えられた。一方、B-6y では塩化物イオンが、コンクリート表面から 40mm 程度まで浸透していた。見掛けの拡散係数を算出すると $0.21\text{cm}^2/\text{年}$ となった。土木学会コンクリート標準示方書に示される予測式の値は、 $0.45\text{cm}^2/\text{年}$ となり、この値に比べても小さな値であった。水中不分離性コンクリートは、同じ水セメント比の通常のコンクリートに比べて塩化物が侵入しやすくなる傾向があるとされているが³⁾、本試験ではそのような傾向はみられなかった。いずれにしても、海中部および干満帯においては、コンクリート中の塩化物イオン量が腐食発生限界塩化物イオン量を超えていても、鋼材の腐食に必要な酸素の供給が少なく鉄筋の腐食速度は遅いと考えられた。

4. まとめ

海洋環境(干満帯)に 21 年間または 6 年間暴露した水中不分離性コンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係は、通常のコンクリートと比較して顕著な差は認められなかった。中性化深さは小さい値を示しており、中性化の影響は小さい。塩化物イオンの浸透は、見掛けの拡散係数が、コンクリート標準示方書の予測式の半分以下であり、また、塩化物イオン量が腐食発生限界を超えていても、内部鉄筋等の腐食に及ぼす影響は小さい。

謝 辞

本試験は、鋼管杭の防食法に関する共同研究の一環として、21 年という長期間にわたり実施され、現在も継続中である。試験に関わられた皆様にこの場をお借りしてお礼申し上げる。

参考文献：1) (社)土木学会：水中不分離性コンクリート設計施工指針(案)，p.104，1991，2) (社)土木学会：2007 年制定 コンクリート標準示方書 [設計編]，p.120,2008，3) 土木学会：水中不分離性コンクリート設計施工指針(案)，p.15，1991

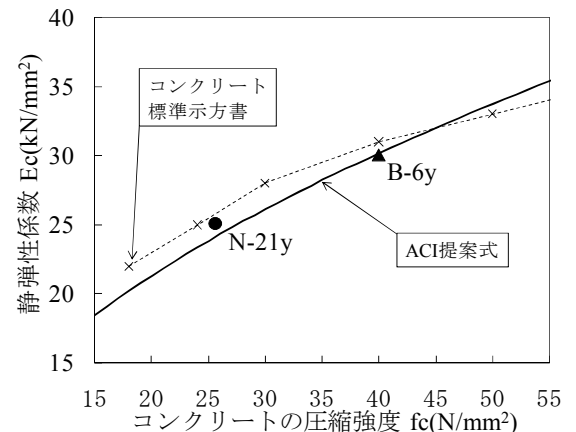


図-2 圧縮強度と静弾性係数の関係

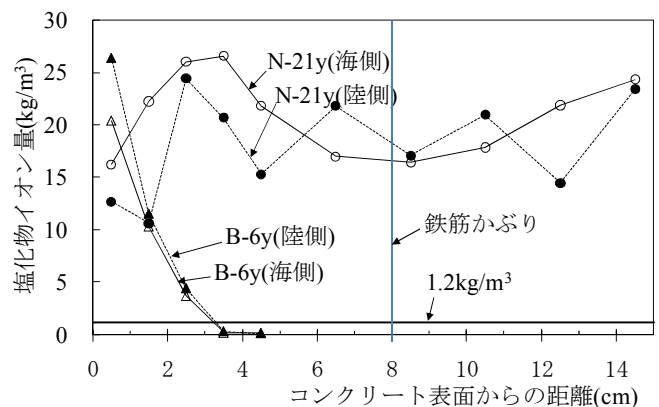


図-3 塩化物イオン濃度分布