

海底シールドトンネル用コンクリートセグメントへの塩分浸透性の評価

金沢工業大学大学院 学生会員 高柳 大輔
 金沢工業大学 藤原 清貴
 金沢工業大学 正会員 宮里 心一
 石川島建材工業(株) 正会員 伊達 重之

1. 序論

近年、シールド工法により建設されるトンネルが増えている。その理由として、(1)シールドトンネルに使われるセグメントを工場で大量生産することによって、コストを削減できること、(2)軟弱地盤でも掘り進められること、などが挙げられる。この利点によってシールドトンネルは、地下鉄、共同溝などに使われている。しかしながら、東京湾横断道路などに代表される、海底シールドトンネル用セグメントを対象としたコンクリート中鉄筋の腐食に関する研究は極めて少ない¹⁾。

したがって、現在、海底シールド用コンクリートセグメントの腐食進展メカニズムを解明することを目的とし、研究を進めている。本稿では、その第1段階として、海底の水圧下におけるモルタル中への塩化物イオン浸透性を評価した。

2. 実験方法

2.1 供試体概要

供試体の概要を図1に示す。φ10×6cmの円柱モルタルを使用し、W/Cは65%とした。この供試体を鋼製の型枠の中に入れ、エポキシ樹脂で固定し、側面および供試体以外からの透水防止を施した。その後、供試体上部に塩水を注入した。

2.2 暴露方法

暴露の水準を表1に示す。

実験ケース No.1 では、型枠設置後に蓋を被せ、窒素充填によって0.4MPaの圧力をかけた。なお、式1に示すとおり、0.4MPaは、3.95atmに相当する。これは、水深40mにシールドトンネルが建設されたと仮定したときの値である。

$$0.4[\text{MPa}] = 400,000[\text{Pa}] \div 101,325[\text{Pa/atm}] = 3.95[\text{atm}] \quad (1)$$

また、実験ケース No.2 では、塩水中へ10～15分間に亘り、窒素ガスを流入させ、溶存酸素量を0.1mg/lに低下させた。その後、蓋を被せ、窒素充填によって

0.4MPaの圧力をかけた。さらに、実験ケース No.3 では、圧力をかけずかつ溶存酸素量も変化させずに、普通の塩水を用いた。

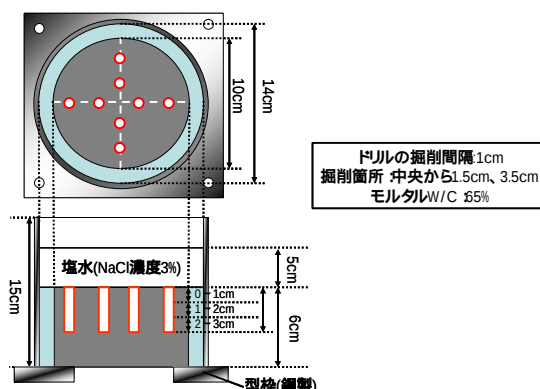


図1. 供試体の概要

表1. 実験ケース(暴露水準)

No.	圧力(MPa)	溶存酸素濃度(mg/l)
1	0.4	7.0～8.0
2	0.4	0.1
3	0.1	7.0～8.0

2.3 全塩化物イオン濃度の測定方法

試料採取方法を記す。まず、電気ドリルを用いて、供試体表面から3cmまでの深さを1cm間隔に8箇所掘削した(図1)。その後、採取した試料を50の蒸留水に溶かし、塩分測定器を用いて可溶性塩化物イオン濃度を求めた。さらに、式2に示すとおり、可溶性塩化物イオン濃度を全塩化物イオン濃度に変換した²⁾。

$$C_{all} = C_{sol} \cdot \frac{1.85}{1.05} \cdot \frac{100}{82.5} \quad (2)$$

ここに、 C_{all} :全塩化物イオン濃度、 C_{sol} :可溶性塩化物イオン濃度である。

2.4 塩化物イオン拡散係数の算定

2.3によって得られた実測値をもとに、Fickの拡散方程式を用いて、塩化物イオン拡散係数 D_d を逆解析した。

2.5 割裂試験

塩化物イオン浸透状況を直接的に確認するため、供試体を割裂した。その後、供試体の割裂面に硝酸銀水溶液を噴霧した³⁾。これによって、白色化した部分を塩化物イオン浸透箇所とした。

3. 実験結果

実験ケース No.1, No.2 および No.3 の塩化物イオン拡散係数 D_{cl} を図2に示す。これによると、圧力をかけなかった No.3 より、圧力をかけた No.1 および No.2 の D_{cl} が大きくなったことが認められる。

また、実験ケース No.1, No.2 および No.3 の割裂した供試体を表2に示す。これによると、実験ケース No.1 および No.2 とともに、ほぼ全面が硝酸銀水溶液で白色化したことが認められる。したがって、6cm 以上まで塩化物イオンが浸透していたと判断できる。一方、実験ケース No.3 では、供試体表面から 1~2cm の部分のみが薄く白色化したことが認められる。したがって、1~2cm まで塩化物イオンが浸透していたと判断できる。

さらに、実験ケース No.1, No.2 および No.3 の全塩化物イオン濃度分布を図3、図4および図5に示す。これらによると、実験ケース No.1 および No.2 より、No.3 の全塩化物イオン濃度が低くなったことが認められる。

これらの結果から、圧力の有無が、塩化物イオンの浸透に影響を与えることが明らかになった。

4. 結論

水深 40m に相当する水圧下では、大気中と比較して、多くの塩化物イオンがモルタル中に浸透することが明らかとなった。

参考文献

- 1) 蛭川 友司ほか:海水が浸透するひび割れ中の鉄筋腐食に関する基礎研究, 土木学会論文集, 第 468 号 / -21, pp. 31-39, 1993.
- 2) 石山 智ほか:押出成型セメント系打込み型枠の塩化物拡散および固定化特性, 第 34 回 セメント・コンクリート研究討論会 論文報告集, pp.73-78, 2007.
- 3) 日本コンクリート工学協会:硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法, 1987.

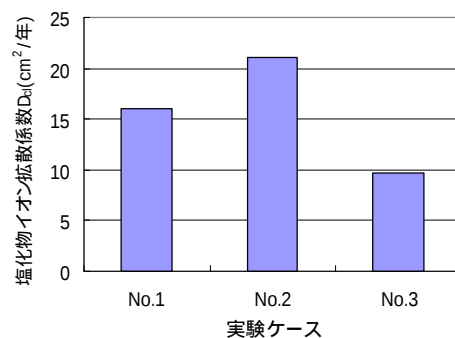


図2. 実験ケースごとの塩化物イオン拡散係数

表2. 実験ケースごとの塩化物イオン浸透状況

実験ケース	No.1	No.2	No.3
供試体割裂面			
塩化物イオン浸透状況	全面に浸透 (6cm)	全面に浸透 (6cm)	1~2cmのみ浸透
暴露日数(日)	246	239	286

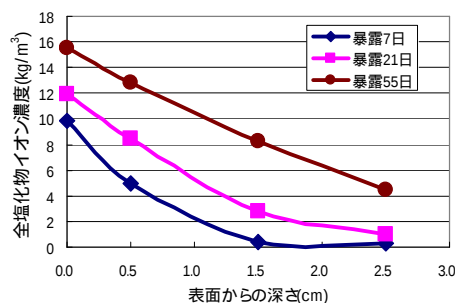


図3. 実験ケース No.1 の全塩化物イオン濃度分布

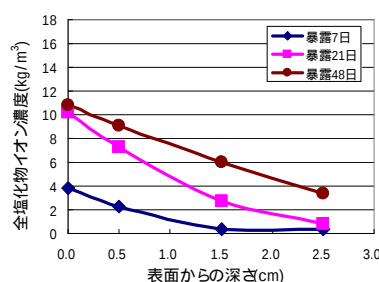


図4. 実験ケース No.2 の全塩化物イオン濃度分布

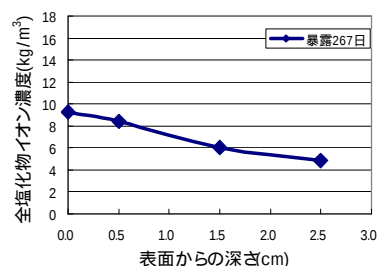


図5. 実験ケース No.3 の全塩化物イオン濃度分布