

港湾鉄筋コンクリート構造物の 再利用性に関する検討

NCS 日本データサービス 株式会社
木村 博史

建設廃棄物

全産業廃棄物排出量の約2割
最終処理量の約3割



発生抑制・リサイクルの推進

建設リサイクルの推進



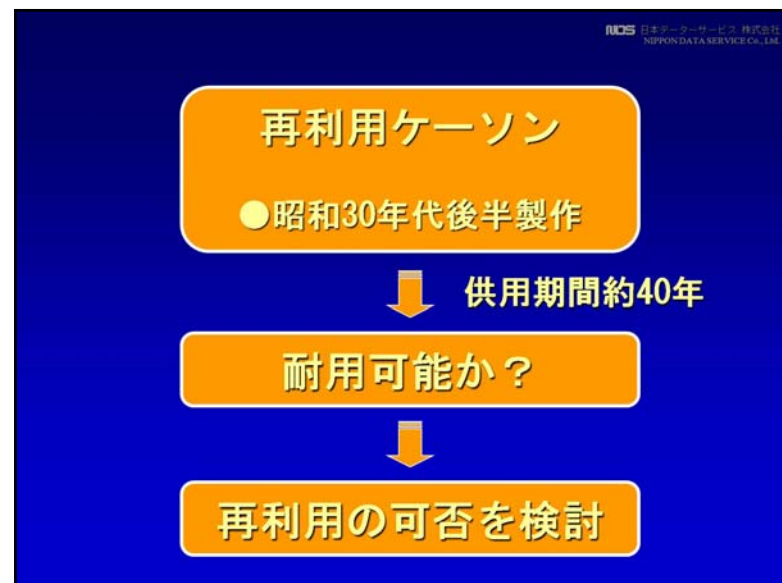
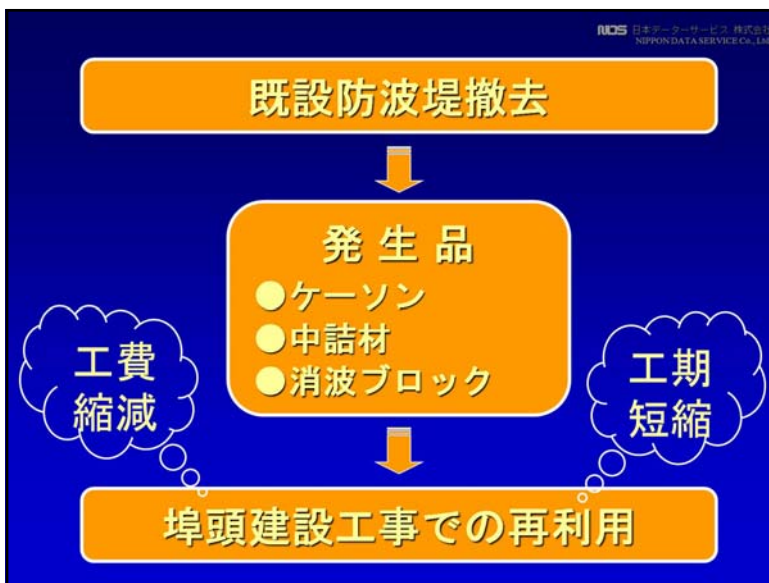
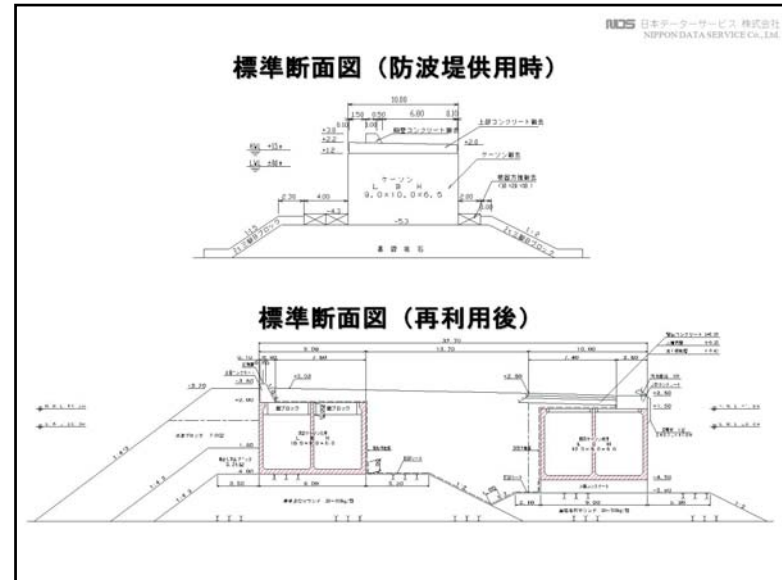
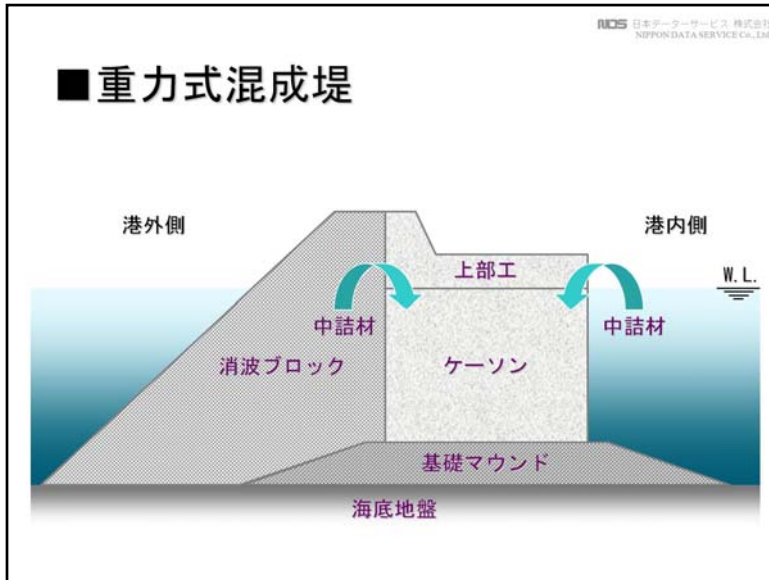
- 建設廃棄物量(環境負荷)の低減
- 再資源化
- 工期短縮
- コスト削減

既設防波堤撤去



発生品

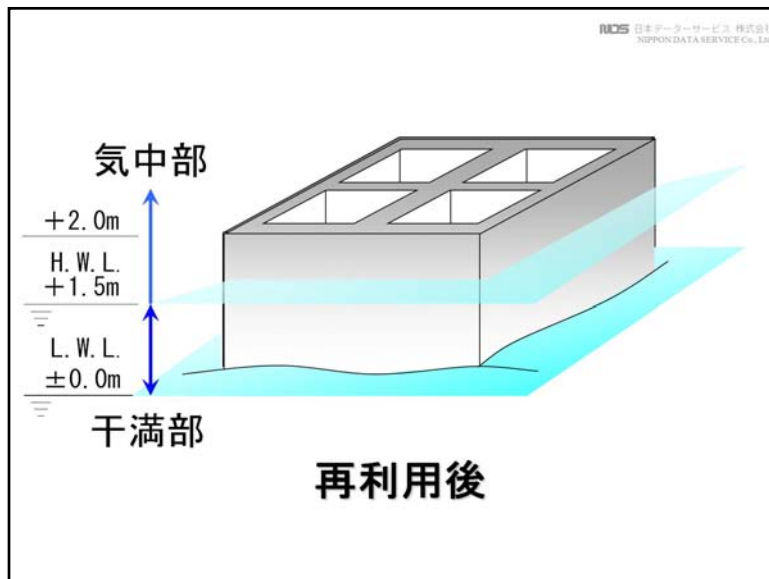
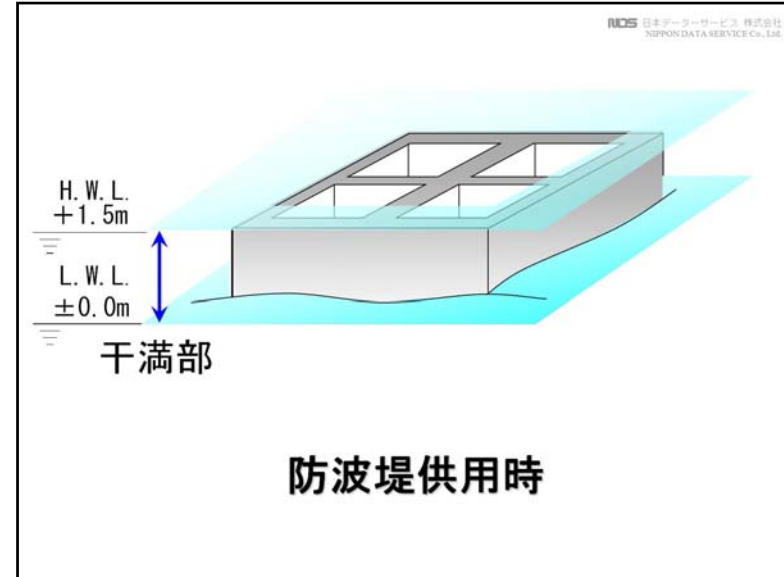
- ケーソン
- 中詰材
- 消波ブロック



■着目点

再利用前	再利用後
-0.8~±0.0(水中) ➡	±0.0~+0.8(干満)
+0.7~+1.2(干満) ➡	+1.5~+2.0(気中)

使用環境が変化



■着目点

再利用前	再利用後
-0.8~±0.0(水中) ➡	±0.0~+0.8(干満)
+0.7~+1.2(干満) ➡	+1.5~+2.0(気中)

- ①Ca(OH)₂の溶脱 ➡ 中性化の急激な進行
- ②塩化物の浸透 ➡ 鉄筋腐食の開始
- ③気中暴露 ➡ 凍害劣化の開始

■ 調査項目

現地調査

- ・外観目視調査
- ・シュミットハンマー試験
- ・自然電位測定
- ・室内試験用コンクリートコア採取

室内試験

コンクリートコア採取

物性試験

- ・圧縮強度試験
- ・静弾性係数試験
- ・超音波試験

化学試験

- ・中性化試験
- ・塩化物イオン含有量試験

物理化学試験

- ・X線回折分析
- ・熱分析
- ・細孔構造分析
- ・気泡組織分析

H. W. L.
+1.5m
L. W. L.
±0.0m

干満部

防波堤供用時



気中部

+2.0m
H. W. L.
+1.5m
L. W. L.
±0.0m

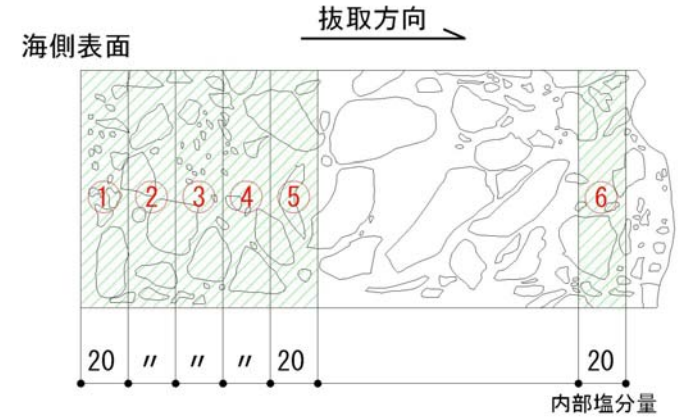
干満部

再利用後

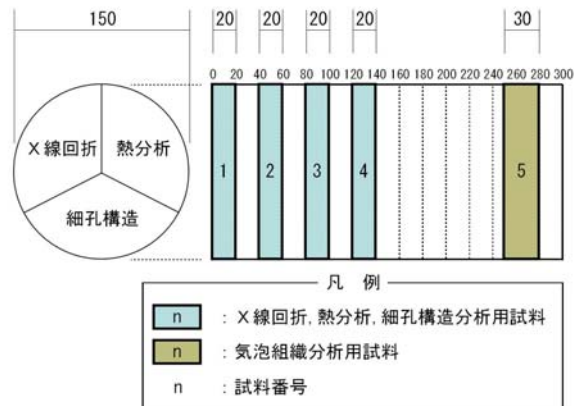
■採取コンクリートコア

No.	径 (mm)	環境		用途
		再利用前	再利用後	
T-1	150	干満	気中	物性・化学
T-2	150	干満	気中	物性・化学
T-3	150	干満	気中	物理化学

■塩化物イオン含有量試験実施深度



■物理化学試験実施深度



■コンクリートの変状

側壁の内側
湾曲した鉄筋

上部工
中詰材
撤去時発生



■コンクリート強度



シュミットハンマー試験



圧縮強度試験
静弾性係数試験

表 コンクリート強度試験結果

	平均圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (× 10 ⁴ N/mm ²)
シュミットハンマー試験 (n=9)	39.2	—
圧縮強度試験 (n=2)	37.6	2.97~3.04

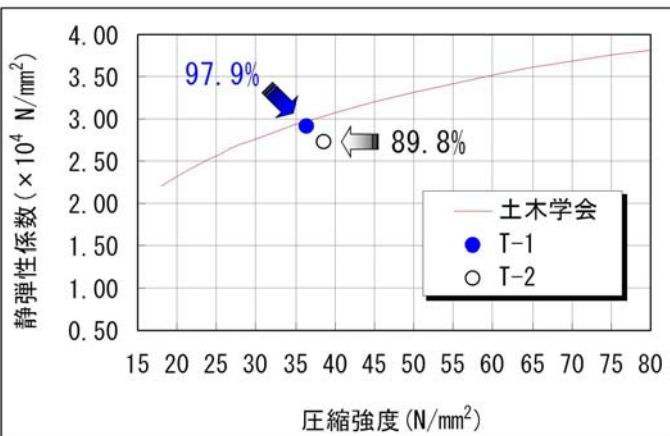


図 圧縮強度と静弾性係数の関係

表 コンクリート強度試験結果

	平均圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (× 10 ⁴ N/mm ²)
シュミットハンマー試験 (n=9)	39.2	—
圧縮強度試験 (n=2)	37.6	2.97~3.04

➡ 強度上堅固な構造物

■ 超音波試験



超音波試験状況

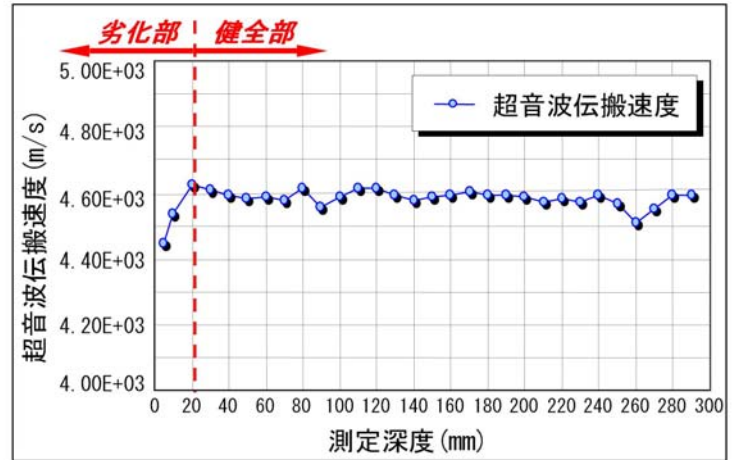
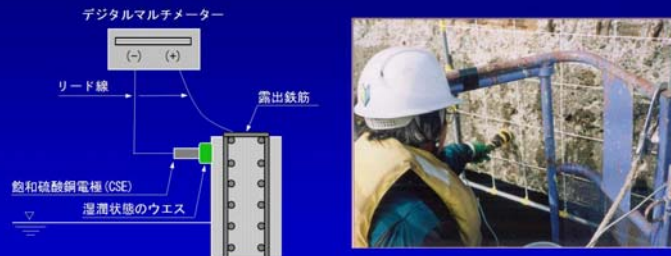


図 深度別超音波伝搬速度

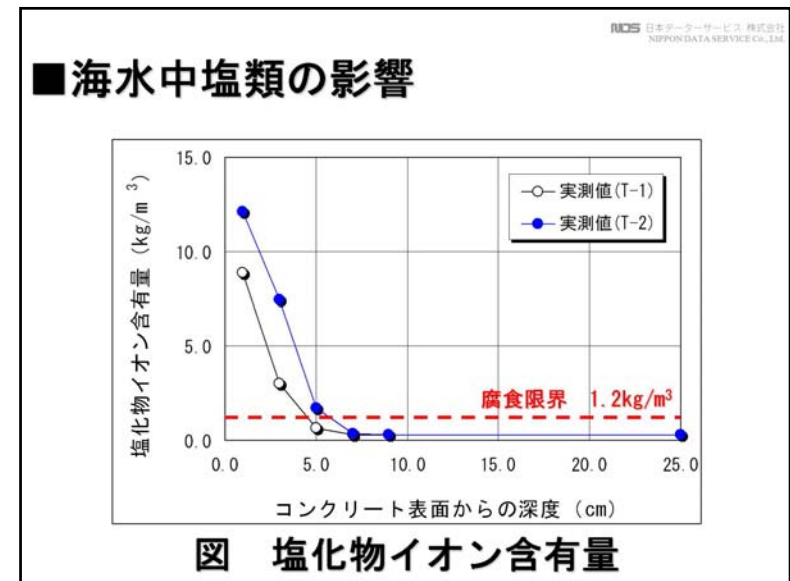
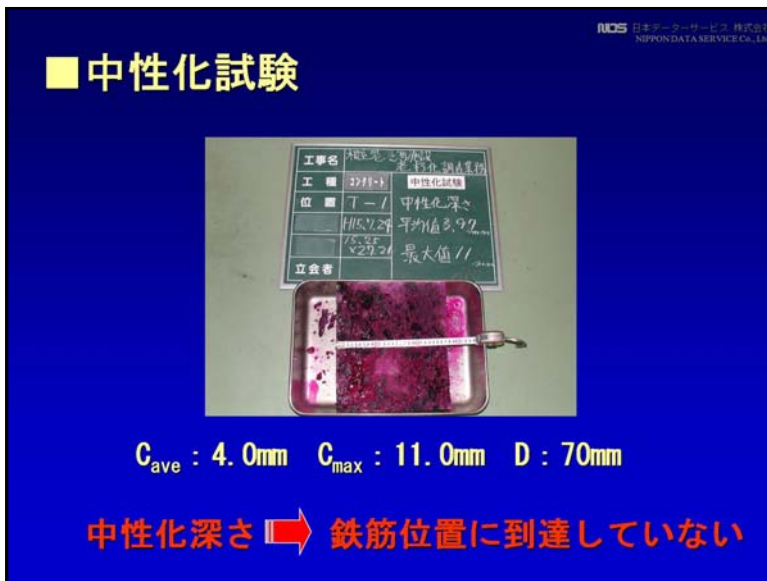
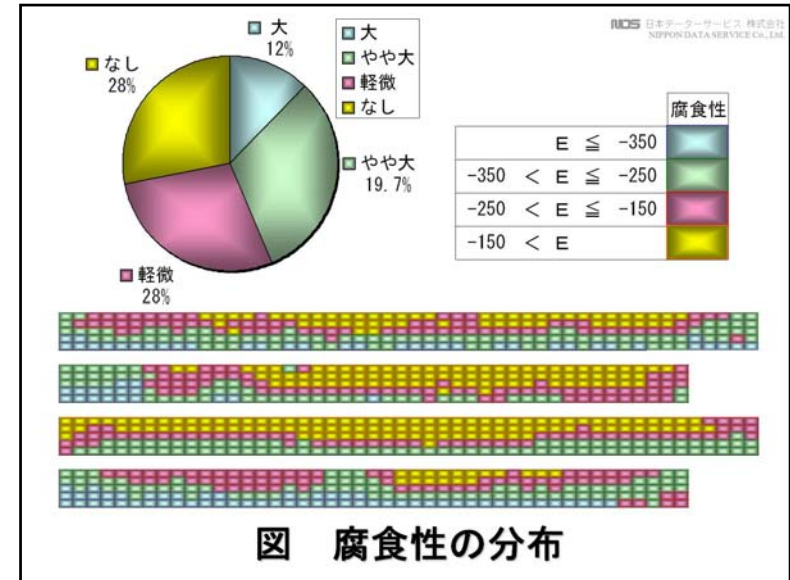
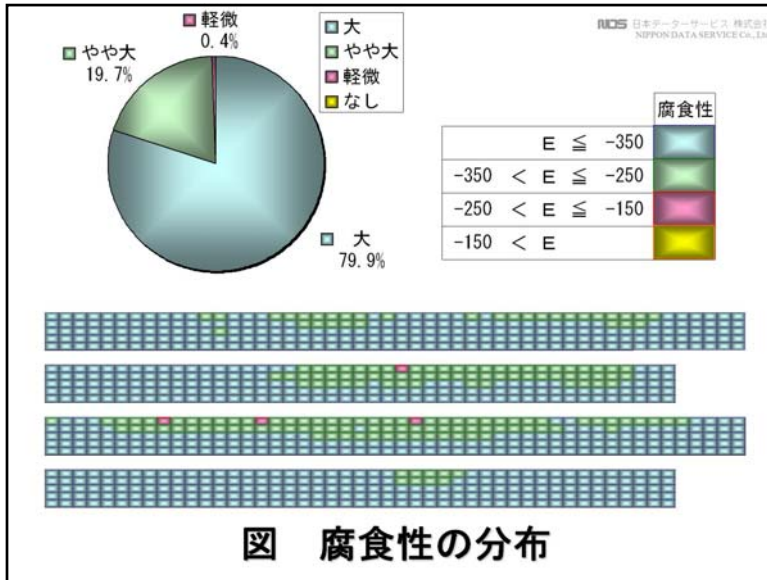
■ 自然電位測定



自然電位測定状況

表 自然電位測定結果

自然電位 (mV) 飽和硫酸銅電極	腐食性	数量 (点)	比率 (%)	面積 (㎡)	計
$E \leq -350$	大	759	79.9	30.36	数量 =950 面積 =38.00
$-350 < E \leq -250$	やや大	187	19.7	7.48	
$-250 < E \leq -150$	軽微	4	0.4	0.16	
$-150 < E$	なし	0	0.0	0.00	



■ Fickの拡散方程式

$$C(x,t) = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{Dc \cdot t}} \right)$$

$C(x,t)$: 深さ x (cm), 経過年 t (s)における
塩化物イオン含有量 (kg/m³)

C_0 : 表面における塩化物イオン濃度 (kg/m³)

Dc : 塩化物イオンの見かけの拡散係数 (cm²/s)

erf : 誤差関数

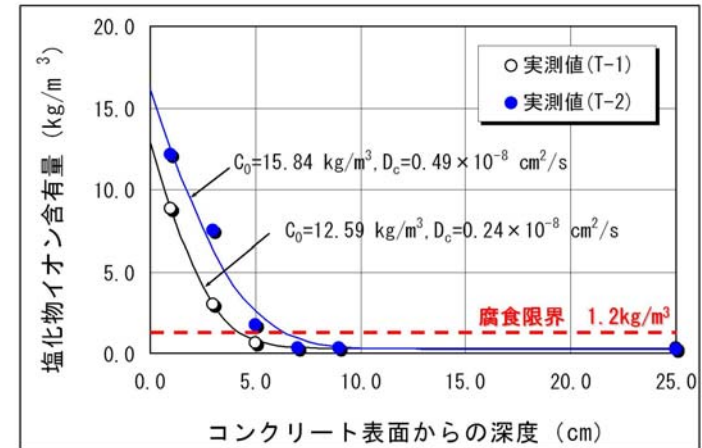


図 拡散予測曲線

■ 拡散係数の照査

【高炉セメントやシリカフュームを使用する場合】

$$\log D_p = -3.0(W/C)^2 + 5.4(W/C) - 2.2$$

試料	表面塩分量 C_0	拡散係数 D_c	推定拡散係数 D_p ($W/C=0.5$)
T-1	12.59	0.24×10^{-8}	$< 1.78 \times 10^{-8}$
T-2	15.84	0.49×10^{-8}	

➡ 標準的な抵抗性を有する

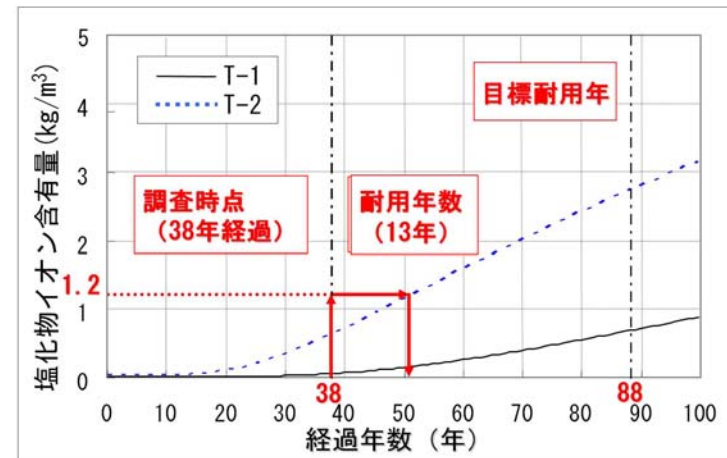
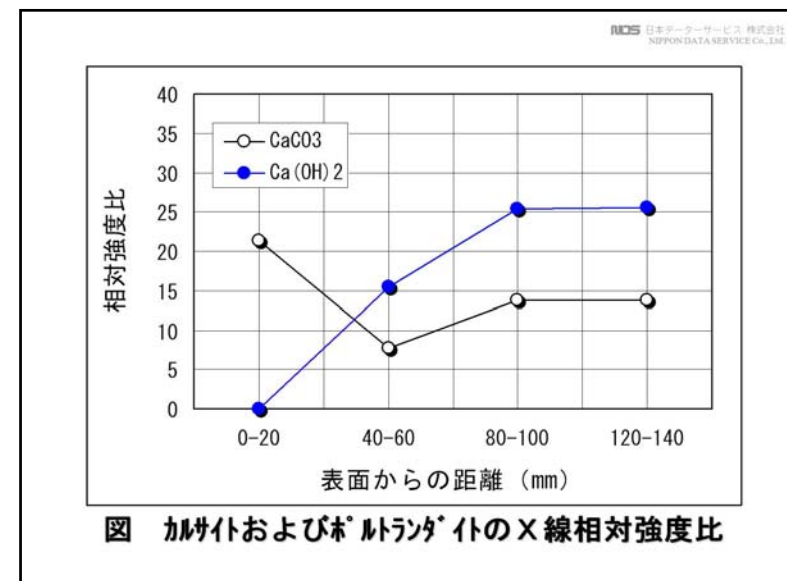
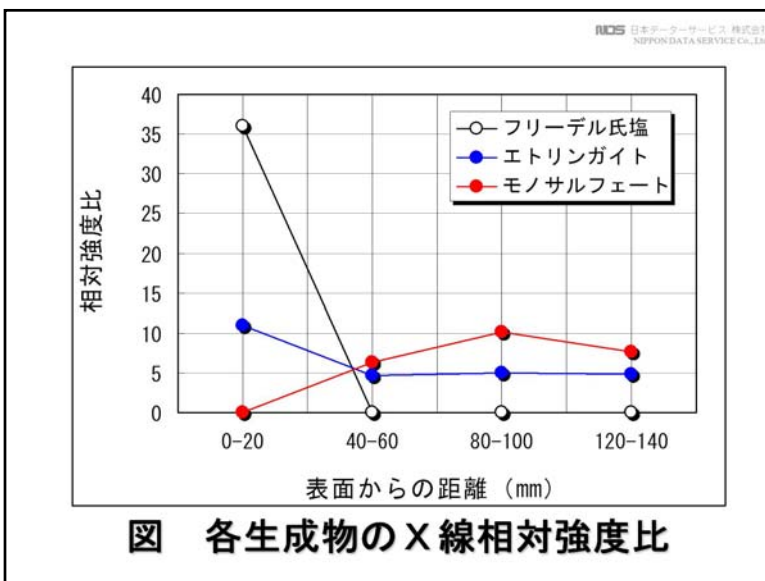
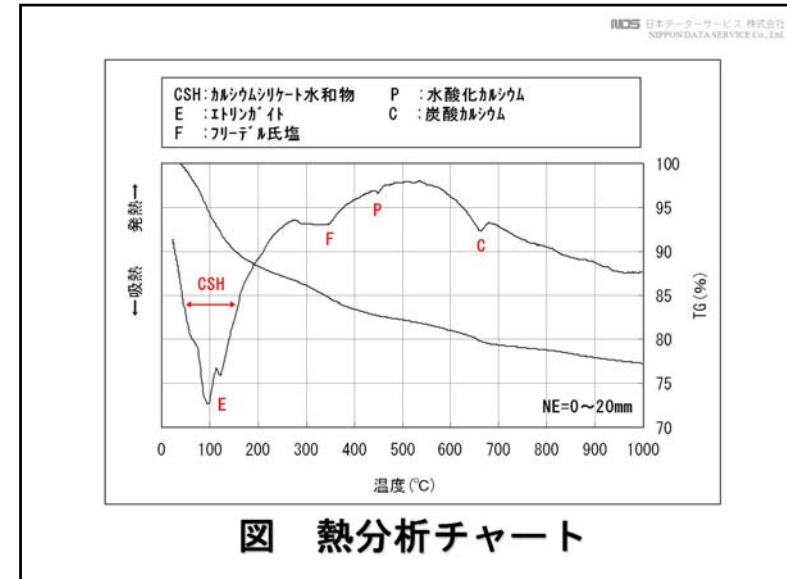
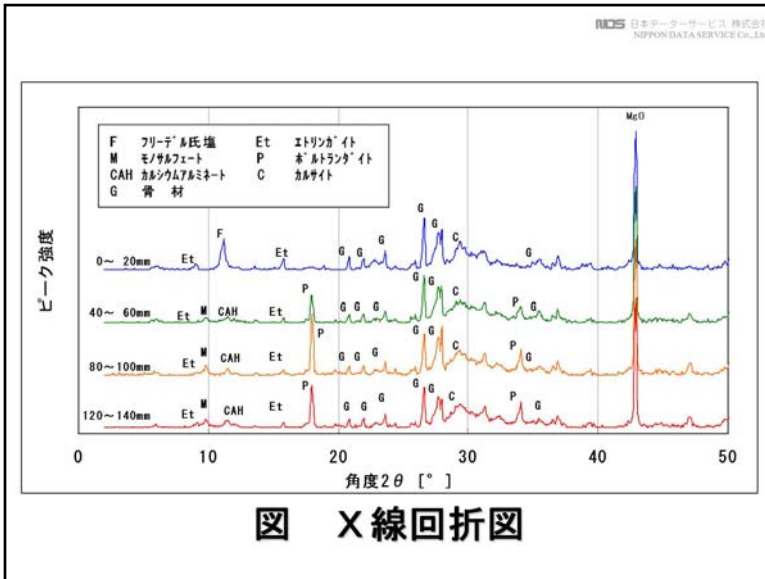
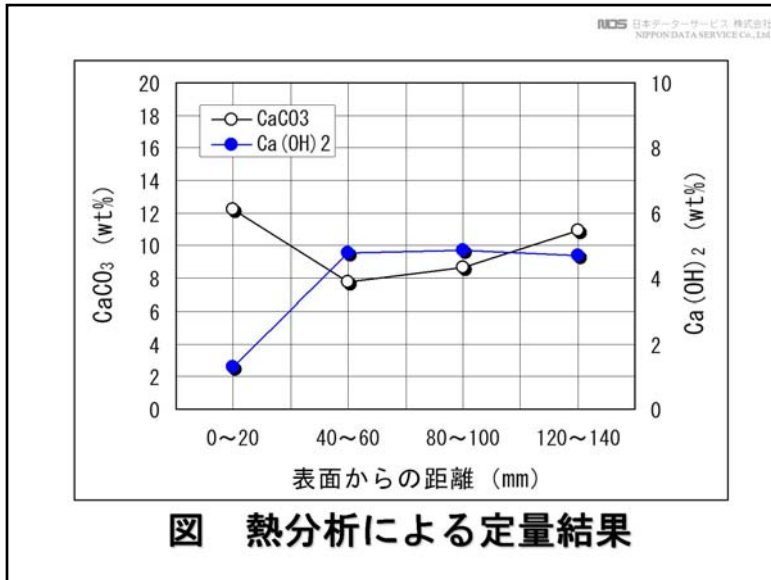


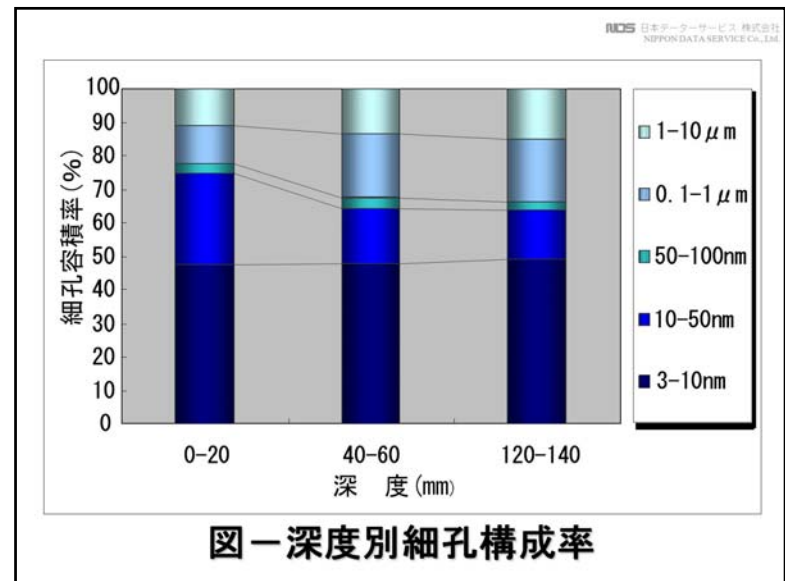
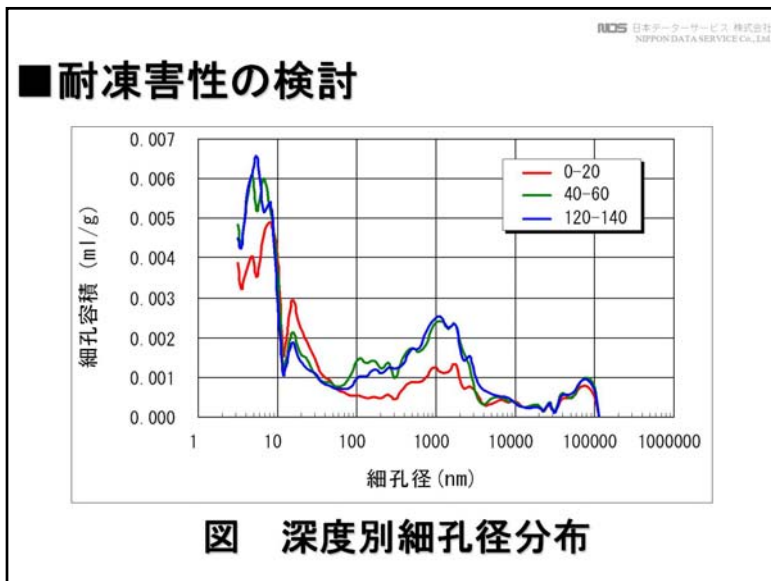
図 鉄筋部塩化物イオン含有量の経年変化

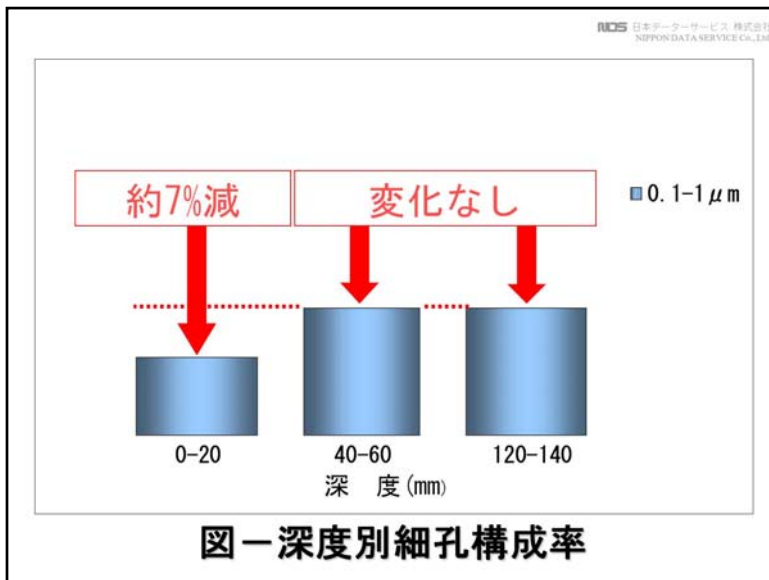




NCS 日本データサービス 株式会社
NIPPON DATA SERVICE Co., Ltd.

深度 (mm)	海水中塩類の影響	
	水和生成物の減少・消失	新規2次物質の生成
0- 20	モ/サルフェート カルシウムアルミネート水和物 水酸化カルシウム	フリーデル氏塩 エトリングイト カルサイト
40- 60	水酸化カルシウム	なし
80-100	なし	なし
120-140	なし	なし





NCS 日本データサービス株式会社
NIPPON DATA SERVICE Co., Ltd.

表 細孔容積と構成率

深度 (mm)	細孔容積 (ml/g)	各細孔群における細孔容積 (ml/g)				
		3-10nm	10-50nm	50-100nm	0.1-1 μm	1-10 μm
0-20	0.03145	0.03145 47.3%	0.01825 27.4%	0.00188 2.8%	0.00773 11.6%	0.00721 10.8%
40-60	0.08818	0.04213 47.8%	0.01449 16.4%	0.00267 3.0%	0.01687 19.1%	0.01202 13.6%
120-140	0.08703	0.04271 49.1%	0.01270 14.6%	0.00220 2.5%	0.01616 18.6%	0.01326 15.2%

NCS 日本データサービス株式会社
NIPPON DATA SERVICE Co., Ltd.

耐凍害性のまとめ

① 表層で0.1~1 μmの細孔が減少
 ➡ 表層の耐凍害性が向上

② 気泡間隔係数
 ➡ 0.279mm

凍結融解抵抗性を有する

NCS 日本データサービス株式会社
NIPPON DATA SERVICE Co., Ltd.

調査結果のまとめ

(1) 経年による変状は概ねコンクリート表層のスケーリングにとどまる。

(2) 37~42 N/mm² の圧縮強度を有し、静弾性係数も概ね標準的な値を示す。強度的な観点からは十分堅固な構造体と考えられる。

(3) 環境の変化を伴わず、今後も現在に至るまでの塩分浸透拡散モデルに従う場合、鉄筋位置における塩化物イオン含有量は早いところで13年後に腐食限界値を上回る。

調査結果のまとめ

- (4) 中性化は現時点において鉄筋位置に到達していない。また水酸化カルシウムの減少領域は概ね0～50mmの範囲である。水酸化カルシウムの溶脱は組織の多孔化を招くため、0～50mmの領域においては影響因子の進入に対する抵抗力が低下しているものと思われる。
- (5) 凍結融解抵抗性に有害とされる細孔の減少が表層部で確認された。また、気泡間隔係数は0.279mmとなり、凍結融解抵抗性を有するコンクリートであると判断される。