

浜岡 1 号機原子炉建屋コンクリートに関する物性の経年変化 —廃止措置プラントを活用した材料研究—

Physical Properties on the Aging Concrete of Hamaoka Unit 1 - Material research utilizing decommissioning NPS -

中部電力(株) 原子力安全技術研究所 横倉 一洋 Kazuhiro YOKOKURA Member
中部電力(株) 原子力安全技術研究所 田中 良仁 Yoshihito TANAKA Member

We began a research about material degradation by using some pieces of concrete and metal taken from Hamaoka Nuclear Power Station (NPS) Unit 1 that is currently being decommissioned. A research project on the aging concrete structures has been conducted since FY2015. This report describes the physical properties such as compressive strength on the aging inner wall concrete.

Keywords: Aging concrete, Compressive strength, Decommissioning plant, Inner wall

1. はじめに

現在廃止措置中の浜岡原子力発電所 1 号機を活用した材料研究として、原子炉建屋コンクリート材料の劣化評価に関する研究を 2015 年度から実施している。この研究では、原子炉建屋各部位より試料採取し、高経年化コンクリートデータベースを構築する。従来の材料強度に基づく評価ではなく、部材耐力や建屋振動特性に着目した、合理的な健全性評価の新たな枠組みの提案を目的としている。本報では、これまでに得られた特徴的な結果について報告する。

2. 試験

2.1 コア採取

本研究では、1 号機原子炉建屋について図 1 に示す各部位からコアを採取し試験を行い、高経年化コンクリートデータベースを構築する。次に、非破壊検査方法や数値解析による評価法について実機による検証を実施し、それらにより合理的な健全性評価手法を構築する。現在までに予定採取箇所の 7 割からのコア採取を終え、順次試験を実施している。

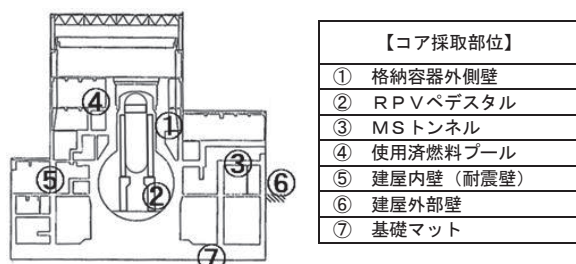


図 1 コア採取部位

2.2 試験結果

無塗装耐震壁部 (普通コンクリート) の圧縮強度の試験結果を図 2 に、静弾性係数の試験結果を図 3 に示す[1]。

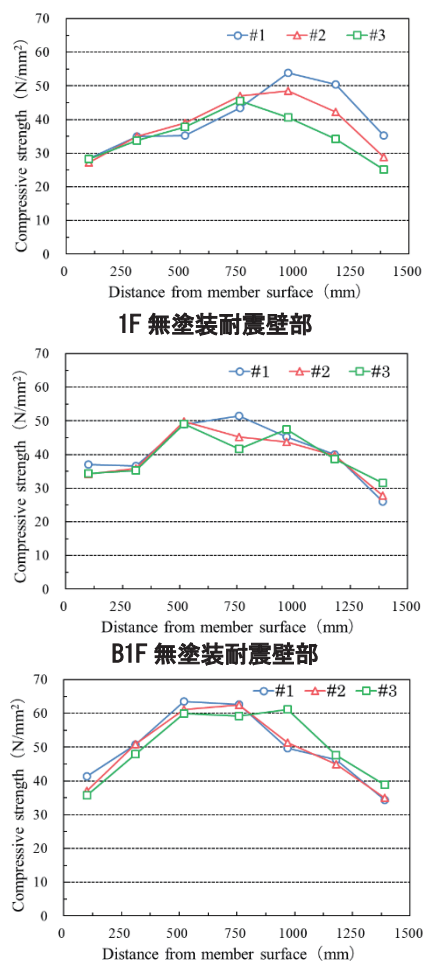
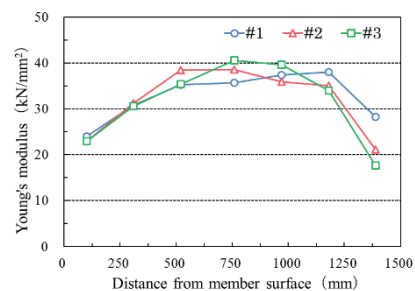
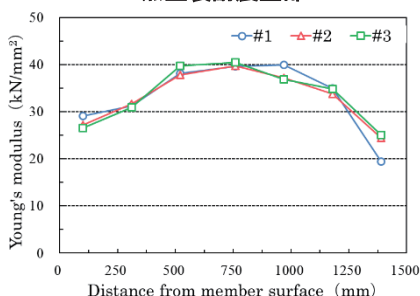


図 2 壁断面内圧縮強度分布

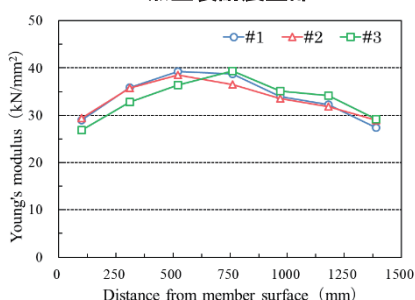
連絡先: 横倉一洋, 〒437-1695 静岡県御前崎市佐倉 5561, 中部電力(株)原子力安全技術研究所, 電話: 0537-85-2353, E-mail: Yokokura.Kazuhiro@chuden.co.jp



1F 無塗装耐震壁部



B1F 無塗装耐震壁部



B2F 無塗装耐震壁部

図3 壁断面内静弾性係数分布

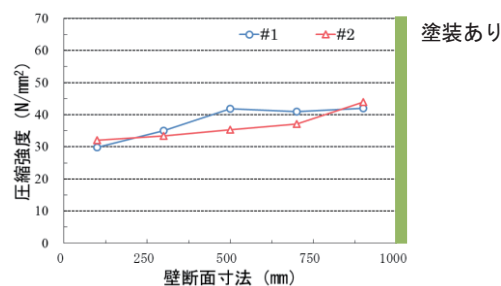
圧縮強度は、いずれも部材中央部が端部よりも大きな値を示しており、圧縮強度は中央部では端部の1.5倍以上であった。静弾性係数は、圧縮強度と概ね同様の形状となり、いずれも部材中央部が端部よりも大きな値を示した。

3. 圧縮強度の分布に関する検討

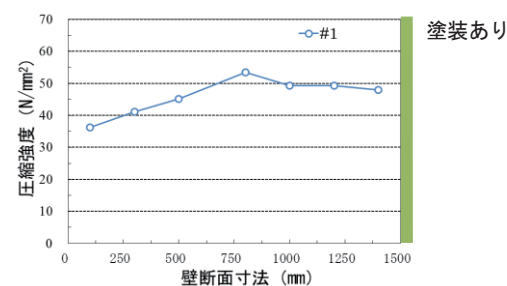
3.1 塗装が施してある部位との比較

耐震壁は場所により表面塗装が施してある箇所があることから、試験結果の一例として、塗装耐震壁部（普通コンクリート）の圧縮強度試験結果を図4に示す。

圧縮強度は、いずれも部材中央部が端部よりも大きな値を示しているが、塗装した部材端部の強度の絶対値は無塗装部よりも高い値を示している。このことから、塗装がコンクリートの乾燥を保護している可能性が考えられる。



1F 片側塗装耐震壁部



B2F 片側塗装耐震壁部

図4 壁断面内圧縮強度分布

3.2 ポテンシャル強度との比較

原子炉建屋の打設コンクリートの品質管理等に関する記録がまとめられている。それらによれば、原子炉建屋コンクリートの設計基準強度はすべて22N/mm²、セメント種別として普通ポルトランドセメントと中庸熟ポルトランドセメントの2種類の材料が用いられた。以下に、打設コンクリートの圧縮強度試験結果（管理供試体）を表1に示す[2]。

表1 管理供試体の圧縮強度試験結果

	σ ₂₈ 中庸熟	σ ₂₈ 普通	σ ₉₁ 中庸熟
採取数 (個)	513	390	505
平均圧縮強度(kg/cm ²)	308	330	416
標準偏差(kg/cm ²)	38.86	26.11	31.96
変動係数(%)	11.97	7.92	7.68

部位別の採取試料数が最も多い耐震壁部における強度検討を行う。別途実施した検討によれば、コア採取位置の打設コンクリートの品質管理値である、圧縮強度、スランプ、空気量等の値は同じ調合における平均的な値であり、データの代表性における偏りは見られなかった[3]。

コンクリートの強度発現は、空隙率理論に基づく成長曲線となることが知られている。洪らによれば、式(1)、(2)で定義されるロジスティック曲線で強度発現を比較的良好に近似できる[4]。

$$F = F_{\infty} / (1 + \exp(a \times \log M(t) + b)) \quad (1)$$

$$M(t) = \sum_0^t (T - T_0) \quad (2)$$

ここで、

F : 圧縮強度(N/mm²)

F_∞ : コンクリートの最終到達強度(N/mm²)

M(t) : 積算温度(°C・日) 温度は 20°Cと仮定

T : 養生温度 (°C)

T₀ : その温度以下では強度増進がないと考える
基準温度 (ここでは -10°Cと設定)

a, b : 定数 (標準養生試験体の圧縮強度から、
最小二乗法近似により決定)

前述のコア採取時点における長期的に発現されうる普通コンクリートの圧縮強度 (以下、ポテンシャル強度と略す。) を推定する。ここで、F_∞は 20°C標準養生供試体の 4 週圧縮強度の測定結果 F₂₈を用いて式(3)によって算定することとした[5]。

$$F_{\infty} = F_{28} \times (1 + \exp(a \times \log(28 \times 20)) + b) \quad (3)$$

コア採取対象となった耐震壁部コンクリートは 2 種類の調合が用いられているが調合間の差異は少なく、普通コンクリートのポテンシャル強度を計算した結果は、57.8N/mm²となった。

図 2 および図 4 に示す耐震壁の各階圧縮強度分布について、部材中央部では普通コンクリートのポテンシャル強度に近い値となっている。中央部では水分が豊富で長期にわたって水和反応が進展しているのに対し、表層部では乾燥が水和反応に影響を与えていることが推察される。

4. まとめ

耐震壁部材中央部は部材端部と比較して高い圧縮強度を示し、強度分布としては山形となっている。この要因分析として、部材端部では乾燥等により部材内部と異なる環境のためと推測していた。表面塗装をした部材端部では、無塗装部よりも高い強度であることがわかった。また、中央部はポテンシャル強度と同程度の強度となっていることから、表層部は乾燥の影響があることと整合的である。

5. 今後の展開

断面内の強度分布が山形となっている要因について、より詳細な分析を進める。また、他の部位についても試験・分析を進めており、これらのデータを総合的に分析しコンクリートの経年変化のメカニズムを解明していく。最終的には、合理的な健全性評価手法の提案を行う。

なお、本研究を含め、浜岡原子力発電所 1 号機を活用した材料研究の一部は経済産業省「原子力の安全性向上に資する技術開発費補助事業」として実施している。

参考文献

- [1] K. Yokokura et.al, “Concrete strength evaluation of massive concrete structures based on the data obtained from decommissioning nuclear power plant”, SMiRT24, 2017
- [2] 堀内ほか, “浜岡原子力発電所 1 号機のコンクリート工事”, コンクリート工学, Vol.13, No.8, Aug.1975
- [3] 田中ほか, “浜岡 1 号機原子炉建屋コンクリートの強度変化—廃止措置プラントを活用した研究—”, コンクリート工学, Vol.56, No.5, May.2018
- [4] 洪ほか, “ロジスティック曲線を応用したコンクリートの強度推定式の提案—普通ポルトランドセメントの場合—”, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 367 号, 1986.9
- [5] 谷口ほか, “各種セメントを使用したコンクリートの圧縮強度性状”, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, 2008