

廃止措置プラントを活用した コンクリート健全性評価研究

中部電力 島本龍
2018年8月23日



- 01 | 経緯・背景・目的**
- 02 | コンクリートデータベースの構築**
- 03 | 数値解析による評価法の実機検証**
- 04 | まとめ・今後の課題と展望**

01

背景・意義・目的



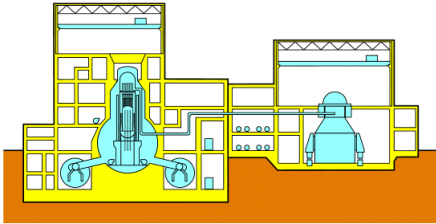
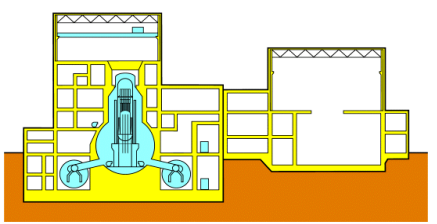
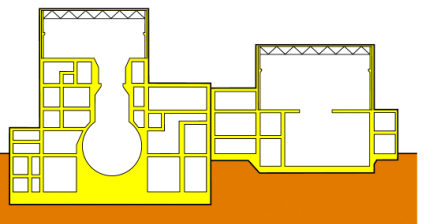
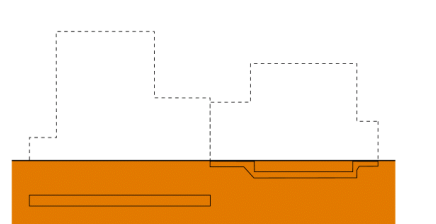
建設開始 1971年3月
運転開始 1976年3月

定格負荷相当年数
16.5年

運転終了
2009年1月

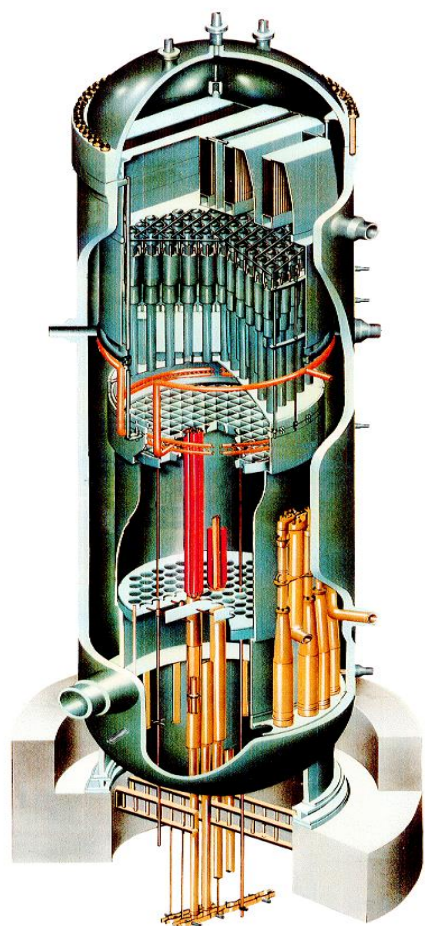
浜岡1号機（BWR-4, 540MW）は浜岡2号機とともに
商用軽水炉として国内初の廃炉プラント

01 | 浜岡 1 号機の廃止措置状況

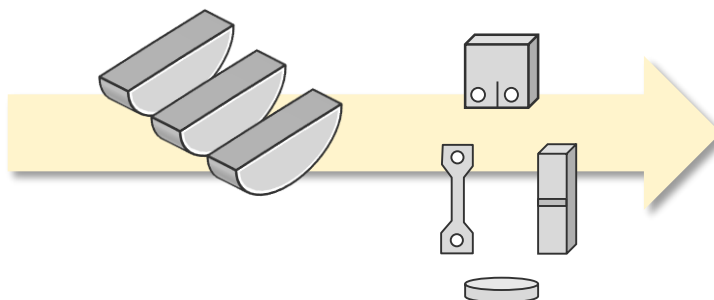
'09~'14年度	'15~'22年度	'23~'29年度	'30~'36年度
第 1 段階	第 2 段階	第 3 段階	第 4 段階
解体工事準備期間	原子炉領域周辺設備 解体撤去期間	原子炉領域 解体撤去期間	建屋等解体撤去期間
			
汚染状況調査、除染等	周辺領域の解体	原子炉領域の解体	建屋等の解体

浜岡1号機は、廃止措置の第2段階（原子炉周辺設備解体撤去期間）で周辺領域の解体を行っている。

廃止措置プラントを有効活用して、原子炉本体部分から構造物の一部を採取し、原子炉の運転等による構造物の材料特性変化を調査するなど、実材料を用いた研究が可能

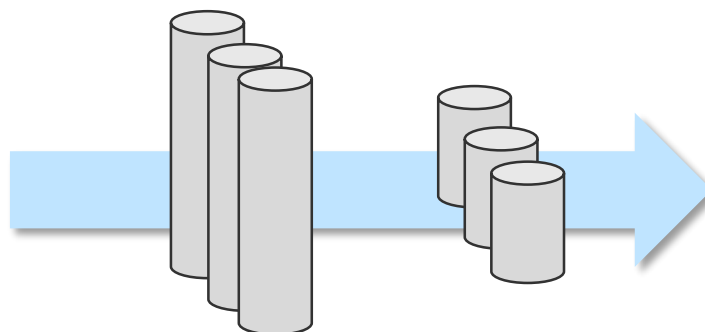


ポートサンプル採取 試験片



原子炉压力容器の照射脆化

- 組織観察
- シャルピー衝撃試験
- ミクロ組織観察 等



コア採取 試験片

原子炉建屋のコンクリートの劣化

- 強度試験
- 比重
- 中性化深さ 等

●背景

- 原子炉建屋の健全性評価は、抜き取ったコアのコンクリート強度が基本となっている。
- 運転延長申請（特別点検）では、原子炉建屋から多くのコアを採取することが求められている。
- 建屋損傷を最小限に抑えた、合理的な健全性評価が望まれている。

●意義

- 実機プラントのコンクリートに関するデータは、これまでは少量のコア採取があるのみだが、膨大な量のコア採取によりデータベースを構築することで、非破壊試験法や解析評価法の検証や新たな健全性評価法の構築に資することができる。
- 熱影響については、16.5年（既往研究と比較すると十分に長期間）の加熱によるコンクリート影響を把握することができる。
- 放射線照射については、運転プラントでは採取できない重要な部位のコアサンプリングが可能である。

●目的

- 非破壊試験法や解析評価法を有効に活用し、維持管理活動に伴う建屋損傷を最小限に抑えた、合理的な健全性評価法の構築に資するデータを取得・評価する。

①コンクリートデータベースの構築 ◀本日概要紹介

非破壊試験法や数値解析による評価法の検証、高経年化評価技術の高度化に有用となる物性データを取得し、高経年化コンクリートデータベースとして整備する。

②非破壊試験方法の実機検証

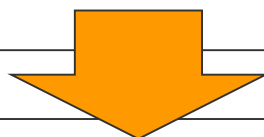
コア採取によりコンクリート強度を調べなくても、非破壊試験法で代用できないか、その適用性について検討を行う。

③数値解析による評価法の実機検証 ◀本日概要紹介

コア採取によりコンクリート強度を調べなくても、データベースに基づいた数値解析による評価法で代用できないか、その適用性について検討を行う。

④材料特性→構造特性の検証

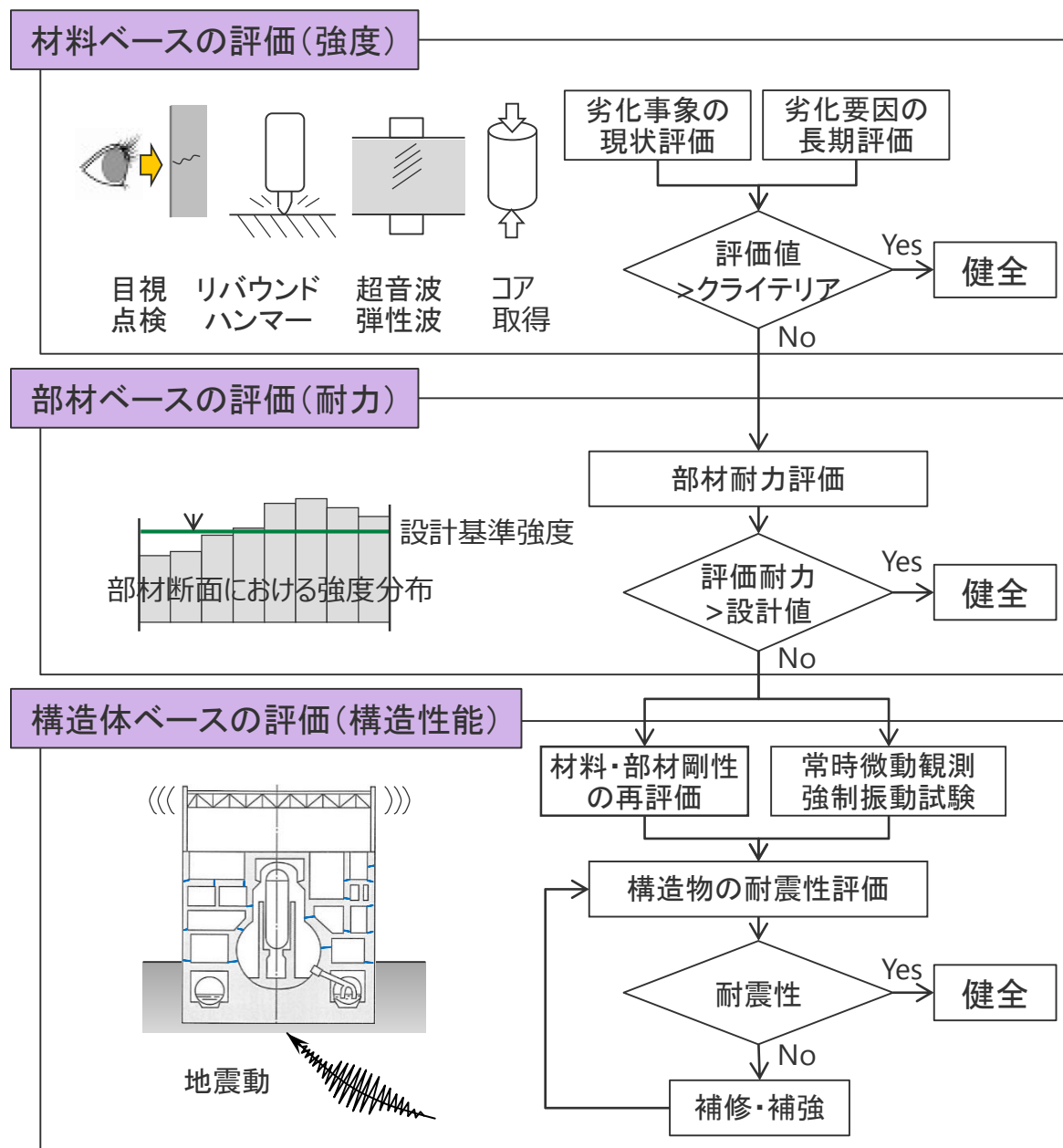
材料ベースや部材ベースの強度評価に加えて、振動特性に着目し建屋の健全性を評価するための検討を行う。



⑤コンクリート構造物について新たな健全性評価法の構築

非破壊試験法や数値解析法を組み合わせ、コア採取を最小限に抑えた合理的な健全性評価法を構築する。

01 | 合理的な健全性評価法のイメージ



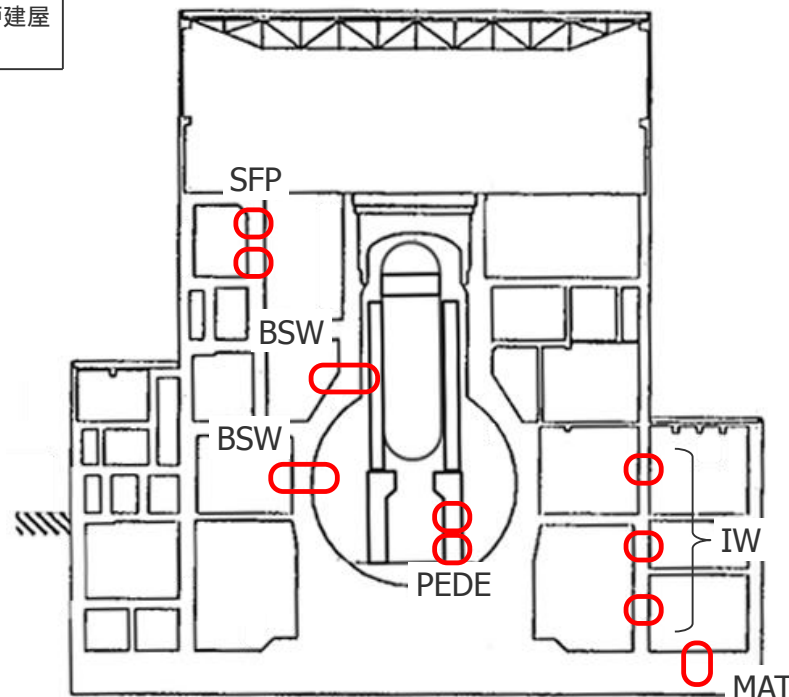
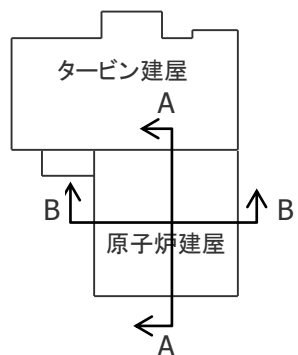
02

コンクリートデータベースの構築

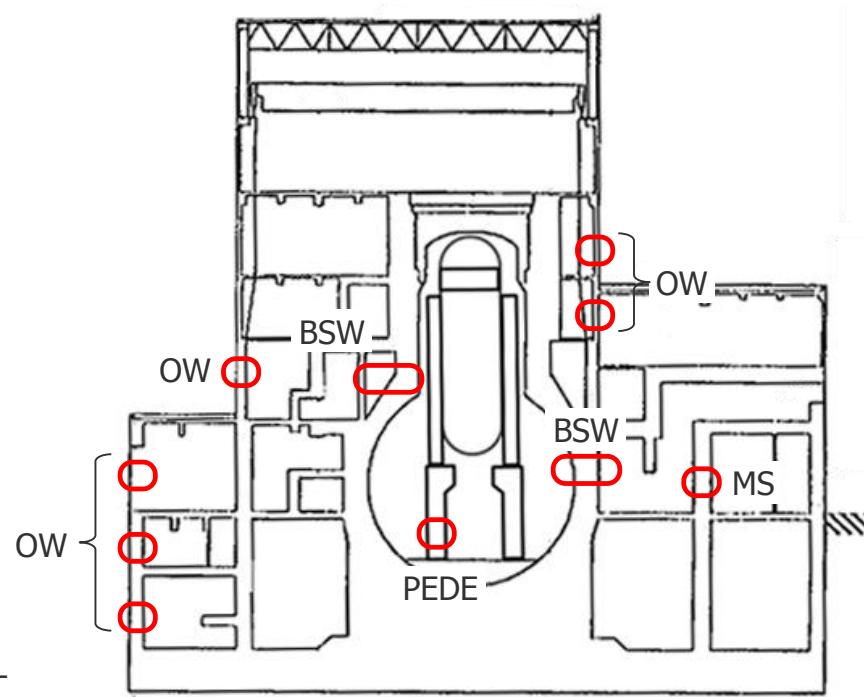
浜岡1号機原子炉建屋の部材厚、環境条件などが異なる部位からコアサンプルを取得

○ コア取得位置

- ・高温および放射線影響 : 一次遮蔽壁(BSW)
ベデスタル円筒壁(PEDE)
- ・高温影響 : MSTンネル壁(MS)
- ・表面仕上げ状況の違い : 内壁(IW)・外壁(OW)[打放し、塗装]
使用済み燃料プール壁(SFP)[ライニング]
- ・極厚部材 : 基礎マット(MAT)[厚さ4.0m]



B-B 断面



A-A 断面

02 | コア採取箇所での材料条件・環境条件

部位	階	壁厚 (mm)	調合 No. ^[1]	温度		湿度			シール 条件		放射 線影 響	打設時期 ^[1]			
				常 温	高 温	屋 内	屋 外	屋 外 地 下	塗 装	ライ ン グ		春	夏	秋	冬
一次遮蔽壁	2F	2200	5		○	○				○	○			○	
	1F	1800	5		○	○			○	○	○		○		
ペDESTAL	1F	1220	4		○	○			○		○				○
	B1F	1320	4		○	○			○		○				○
内壁 (IW1)	B2F	1500	2	○		○						○			
	B1F	1500	2	○		○						○			
	1F	1500	3	○		○							○		
内壁 (IW3)	B2F	1500	2	○		○			○			○			
	B1F	1500	2	○		○						○			
	1F	1000	3	○		○			○				○		
	2F	1000	4	○		○	○		○					○	
	3F	1000	4	○		○	○		○					○	○
外壁	B2F	1500	2	○		○		○	○			○			
	B1F	1500	2	○		○		○	○			○			
	1F	1500	3	○		○	○		○				○		
	2F	900	4	○		○	○		○					○	
	3F	500	4	○		○			○					○	○
	4F	400	7	○		○	○		○						○
MSTンネル	1F	1500	4		○	○			○				○		
基礎マット	B2F	4000	1	○		○		○			○	○			
燃料プール	4F	1900	7	○		○			○	○					○

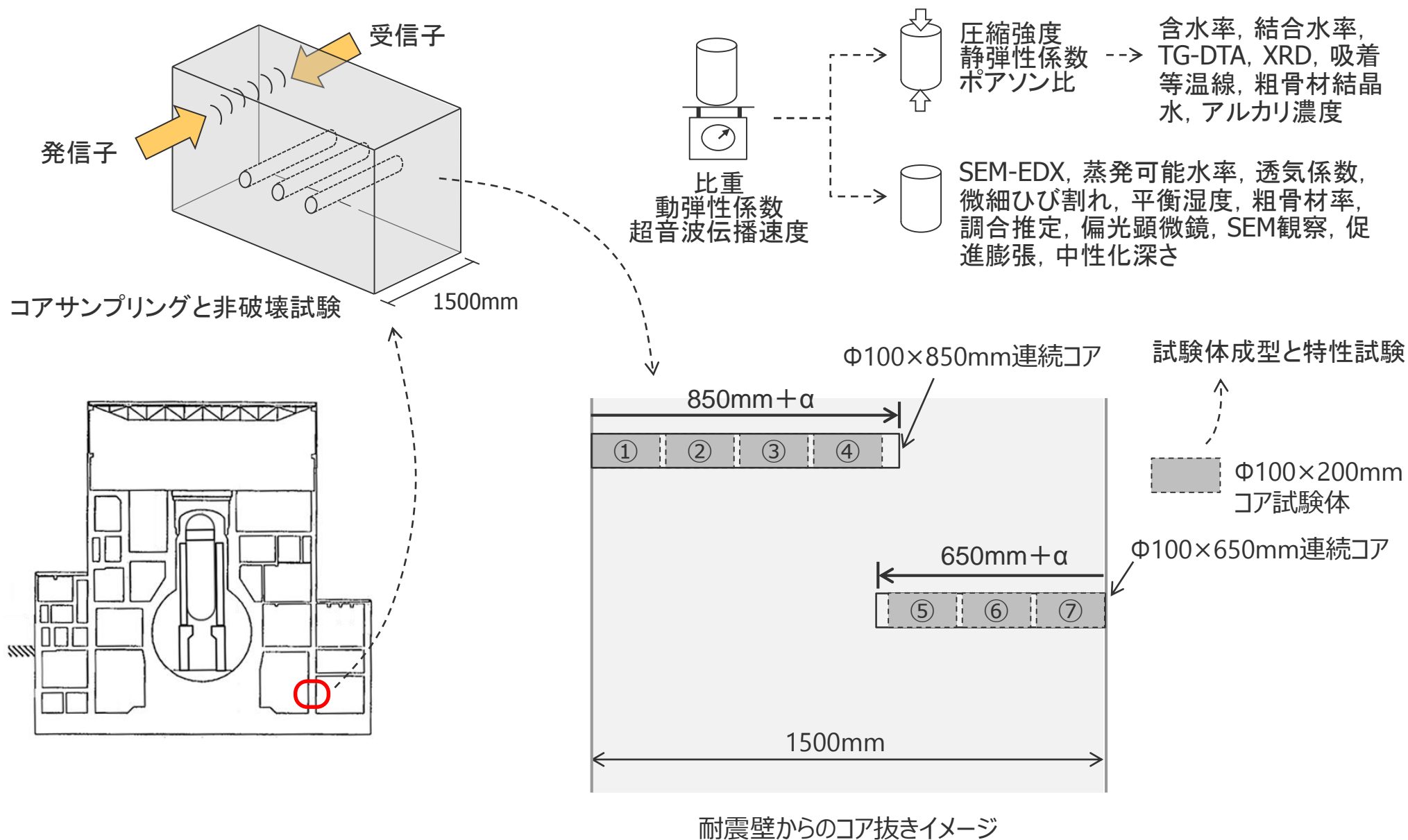
[1]堀内、杉原、岩沢、浜岡原子力発電所1号機のコンクリート工事、コンクリート工学、Vol.13、No.8、pp.11-20、1975

02 | コンクリートの調合^[1]

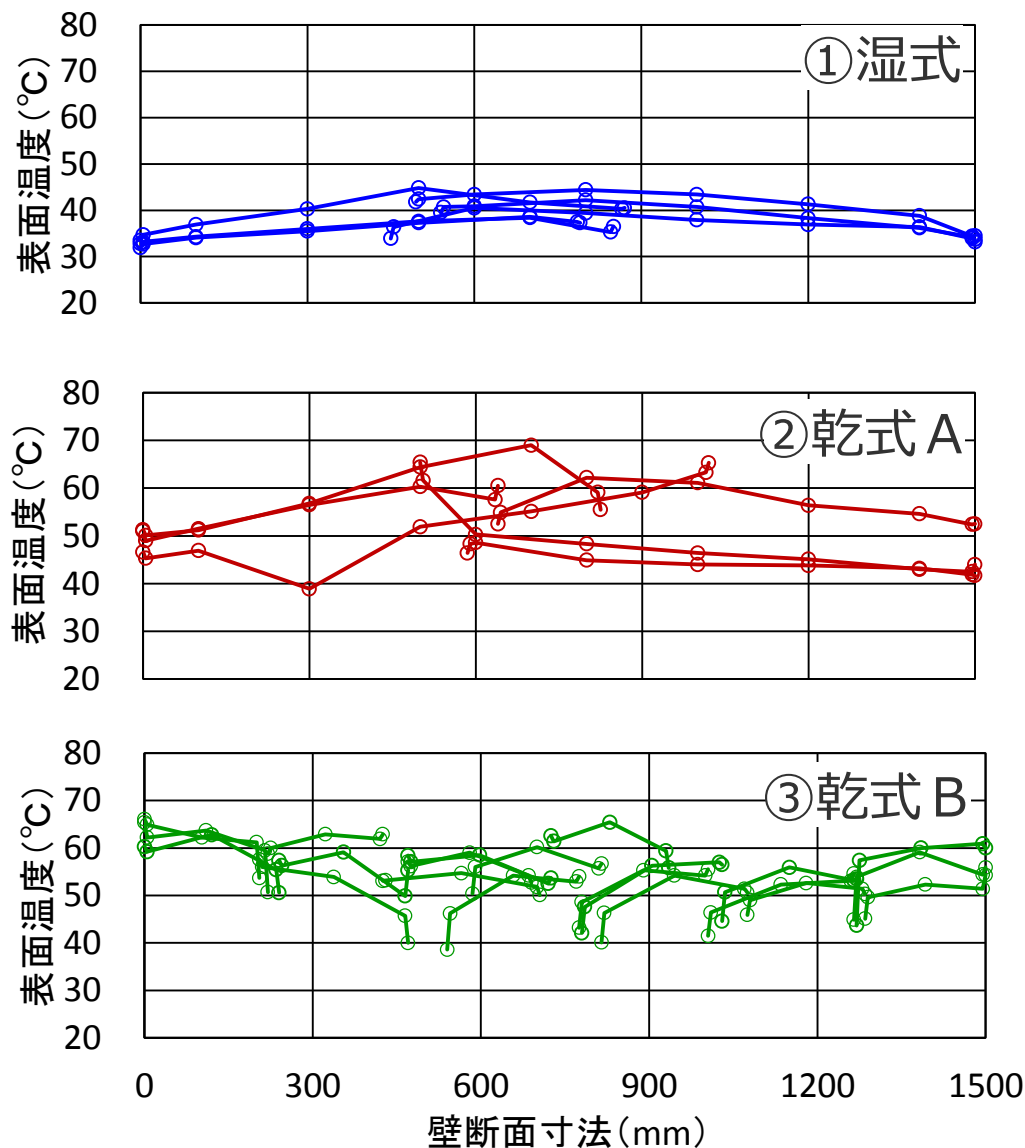
調合 No.	設計 基準 強度 (N/mm ²)	セメント 種類	スラブ (cm)	空気量 (%)	水セメ ント比 (%)	細骨材 率 (%)	単位量(kg/m ³)						主な 打込み場所
							セメント	水	細骨材	粗骨材 (5~25)	粗骨材 (30~40)	混和剤	
1	22.5	中庸熱	10	3.5	48.2	38.5	280	135	752	847	363	0.700	基礎マット
2	22.5	普通	12	3.5	48.3	38.5	300	145	734	1178	-	0.750	B2階, B1階
3	22.5	普通	12	3.5	48.9	38.5	290	142	742	1184	-	0.725	1階
4	22.5	中庸熱	12	3.5	49.3	40.0	290	143	769	1160	-	0.725	2階, 3階
5	22.5	中庸熱	12	3.5	48.0	39.7	300	144	758	1160	-	0.750	遮蔽コンクリート
6	22.5	中庸熱	15	3.5	49.0	42.0	310	152	792	1096	-	0.775	格納容器下部
7	22.5	普通	15	3.5	48.3	40.0	300	145	763	1149	-	0.750	4階
8	22.5	普通	18	3.5	49.0	42.0	310	152	792	1099	-	0.775	5階
9	22.5	普通	18	3.5	50	40	334	167	729	1099	-	0.835	格納容器下部
10	22.5	普通	18	3.5	51.0	43.0	334	170	803	1073	-	0.835	5階壁

[1]堀内、杉原、岩沢、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、pp.11-20、1975

02 | 建屋内壁のコア採取と物性試験の流れ



<p>① 湿式工法 水を供給しながら所定の長さのコアが取得できる深さまで削孔し、クサビを用いてコアの根元を折り、コアを採取した。</p>	<p>①湿式 900mm $\Phi 100 \times 900\text{mm}$コア 700mm $\Phi 100 \times 700\text{mm}$コア</p>	<p>水を供給</p>
<p>② 乾式工法A 吸引機で粉塵を吸引しながら所定の長さのコアが取得できる深さまで削孔し、クサビを用いてコアの根元を折り、コアを採取した。</p>	<p>②乾式A 900mm $\Phi 100 \times 900\text{mm}$コア 700mm $\Phi 100 \times 700\text{mm}$コア</p>	
<p>③ 乾式工法B 吸引機で粉塵を吸引しながら深さ250mmずつ削孔し、クサビを用いてコアの根元を折り、長さ250mm程度のコアを所定数量採取した。</p>	<p>③乾式B 250mm 250mm 250mm 250mm $\Phi 100 \times 250\text{mm}$コア $\Phi 100 \times 250\text{mm}$コア $\Phi 100 \times 250\text{mm}$コア $\Phi 100 \times 250\text{mm}$コア 250mm 250mm 250mm $\Phi 100 \times 250\text{mm}$コア $\Phi 100 \times 250\text{mm}$コア $\Phi 100 \times 250\text{mm}$コア</p>	<p>吸引器で粉塵を吸引</p>



● コア表面温度

湿式工法で平均40°C程度

乾式工法A、Bは40~70°C

➤ 乾式工法Aでは、表層から断面中央部に向かって温度が上昇

➤ 乾式工法Bでは、表層から断面中央部に向かって温度が上昇する傾向は抑えられている

02 | コア採取状況（B2F耐震壁）

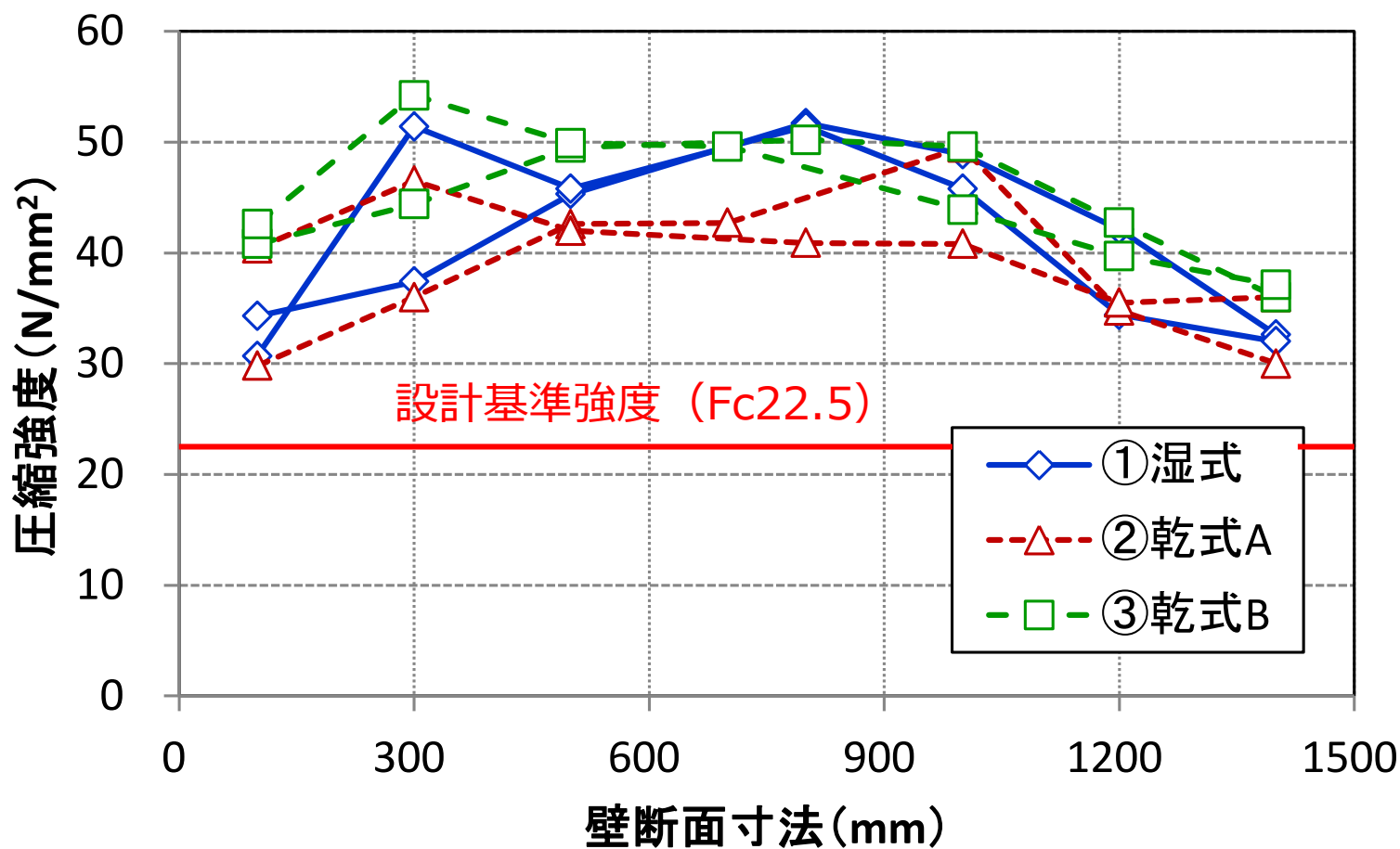


コア採取（乾式工法）の状況

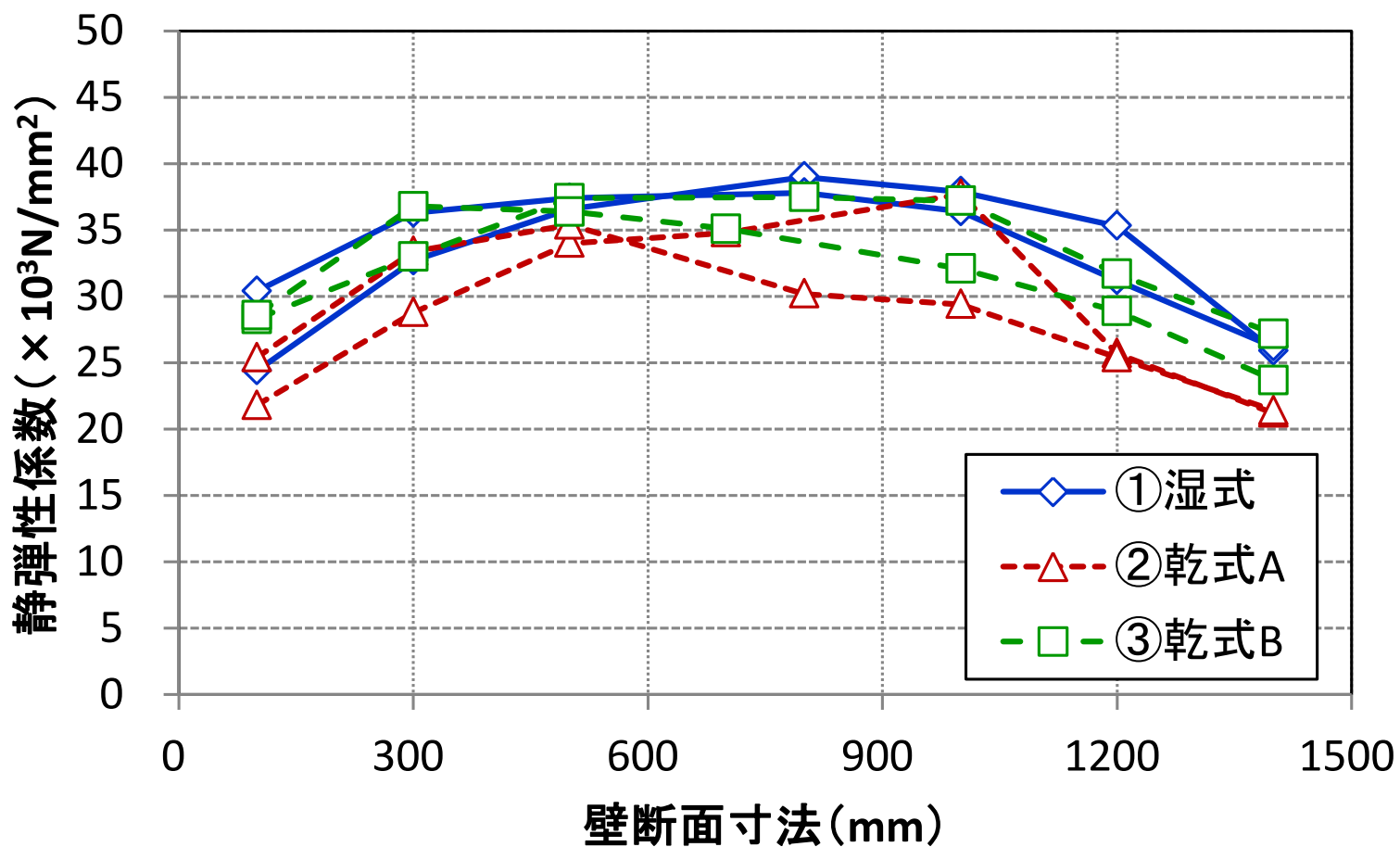


採取コア（乾式工法）の一例

原子炉建屋B2F耐震壁（壁厚1500mm）の両側から、湿式工法と乾式工法でコアを採取

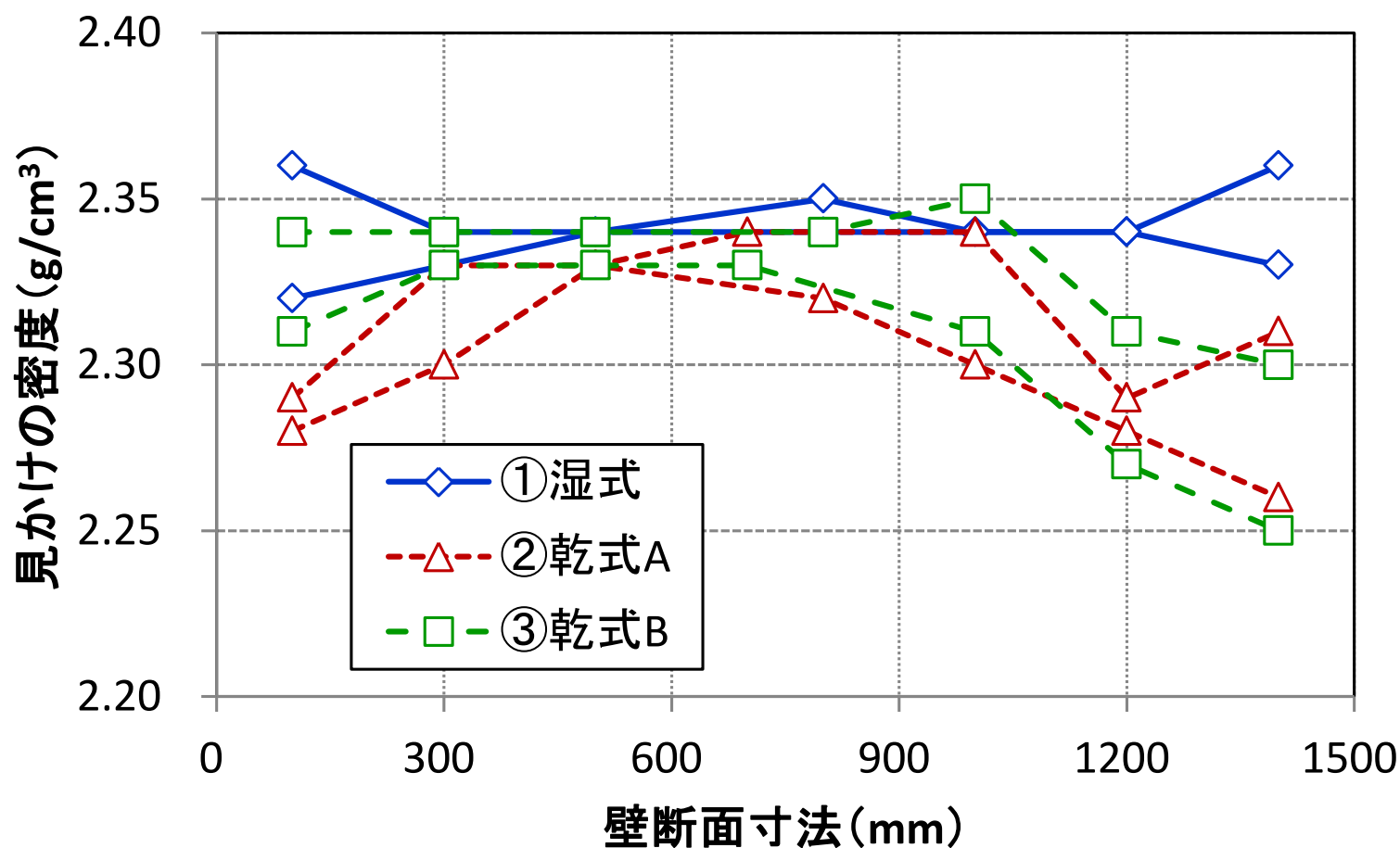


- 圧縮強度は、採取方法に関わらず断面中央が表層よりも大きくなる分布を示している。
- 乾式Aで採取したコアの圧縮強度は、断面中央付近で湿式で採取したコアよりも10N/mm²程度小さいが、乾式Bでは概ね湿式と同様な値を示している。



➤ 静弾性係数は、圧縮強度と概ね同様の傾向であり、山型の分布形状となっている。

02 | 見かけの密度分布

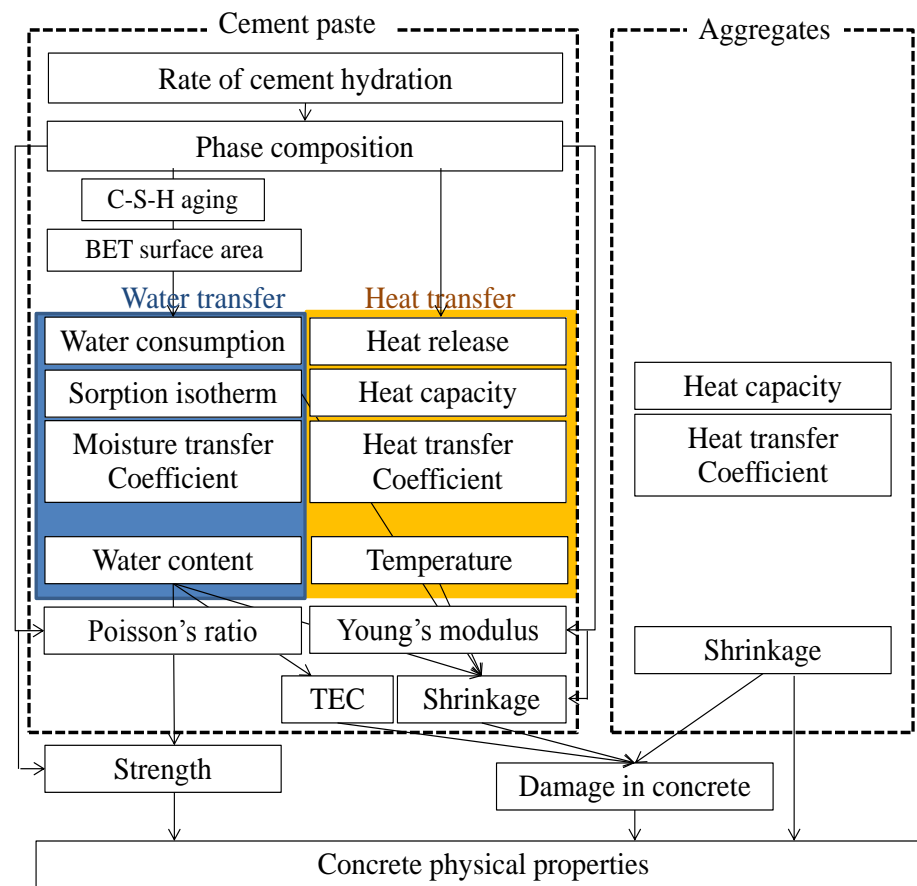


- 見かけの密度は、コア採取方法により異なり、湿式で採取したコアが断面内でほぼ一定であるのに対して、乾式Aおよび乾式Bで採取したコアは、表層で小さな値を示している。
- 湿式では、コア採取中の冷却水により、試験体が水分を吸収したものと考えられる。

03

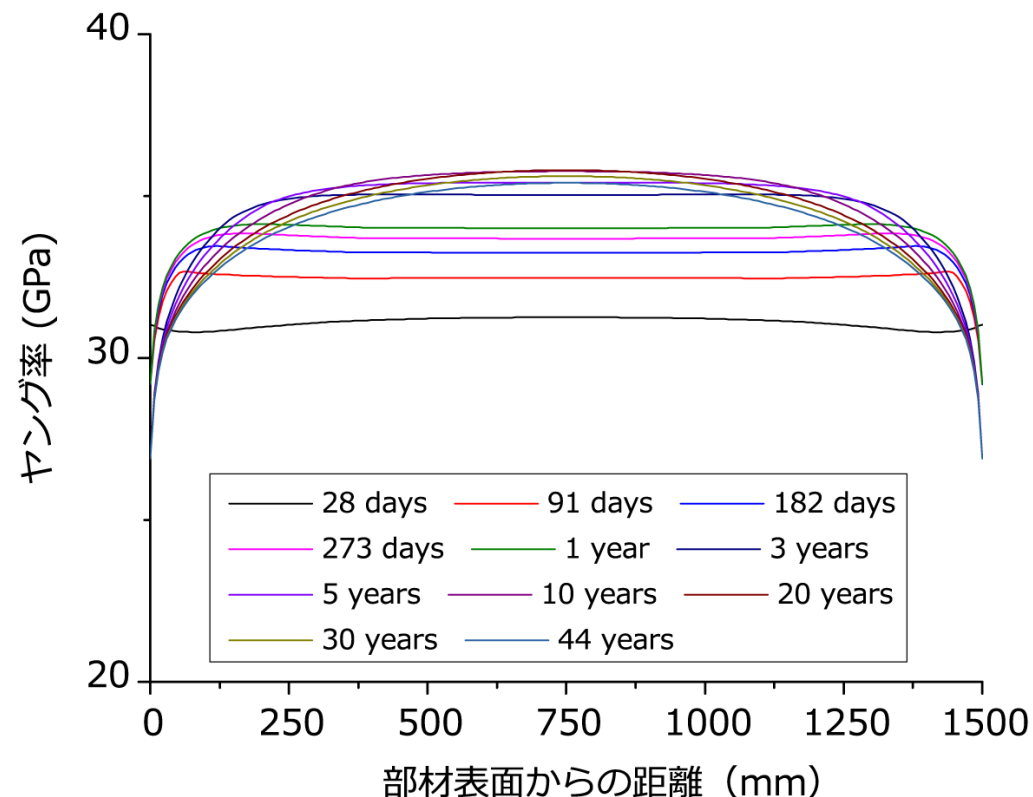
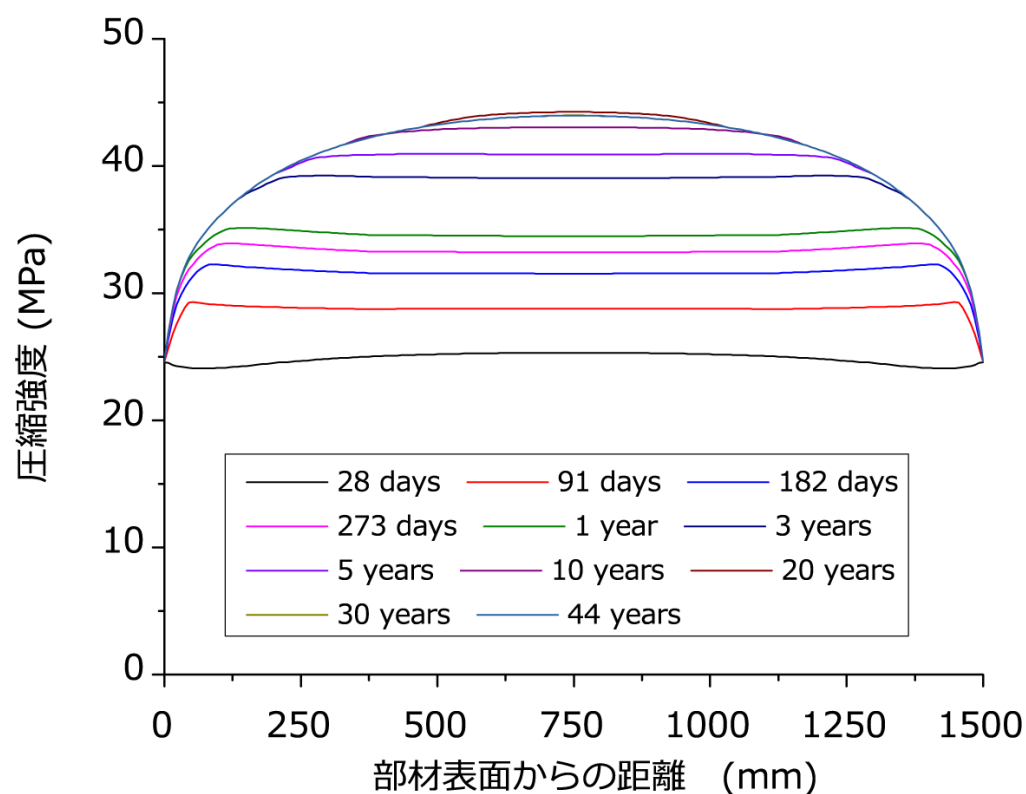
数値解析による評価法の実機検証

- 解析には、名古屋大学で開発した、CCBM (Computational cement based material models)を使用。
- 解析対象：厚さ1500 mmの耐震壁
- 解析条件：
 - 使用材料：普通ポルトランドセメント，最大骨材寸法25mm
 - フレッシュ性状：スランプ12cm，空気量3.5%
 - 調合：水セメント比48.3%，細骨材率38.5%，セメント量300kg
 - 材齢28日強度：354kg/cm²（標準水中）
 - 打設日：1971年8月30日
 - 表面条件：両面とも室内に開放
 - 環境条件：温度20度一定、湿度40%RH一定
 - 曝露条件：材齢28日まで封緘、それ以降40%RHで乾燥



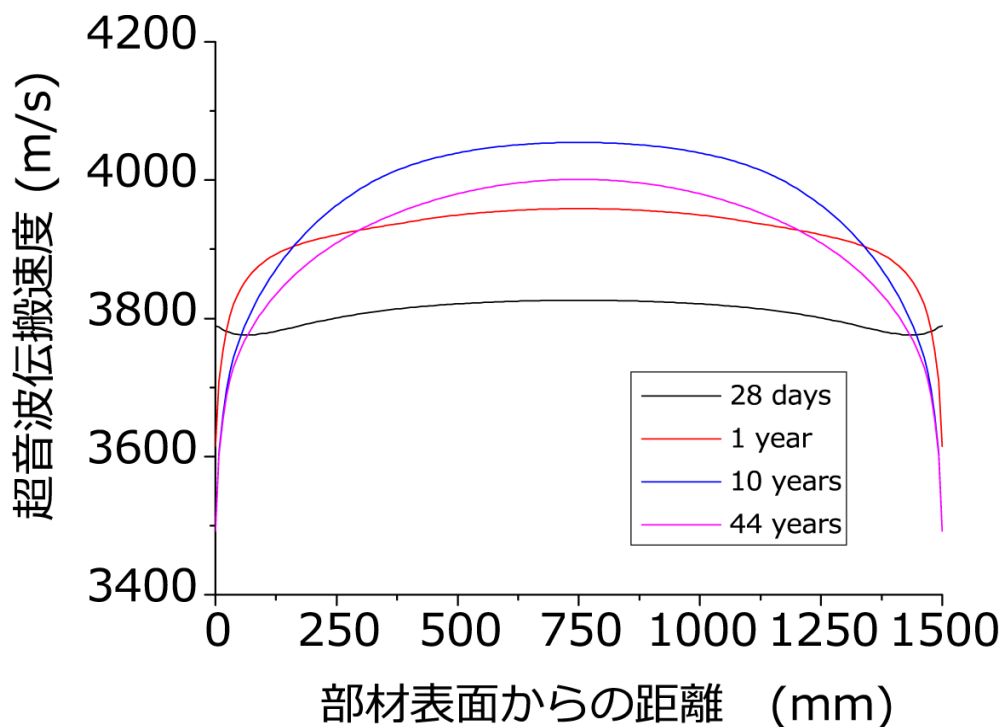
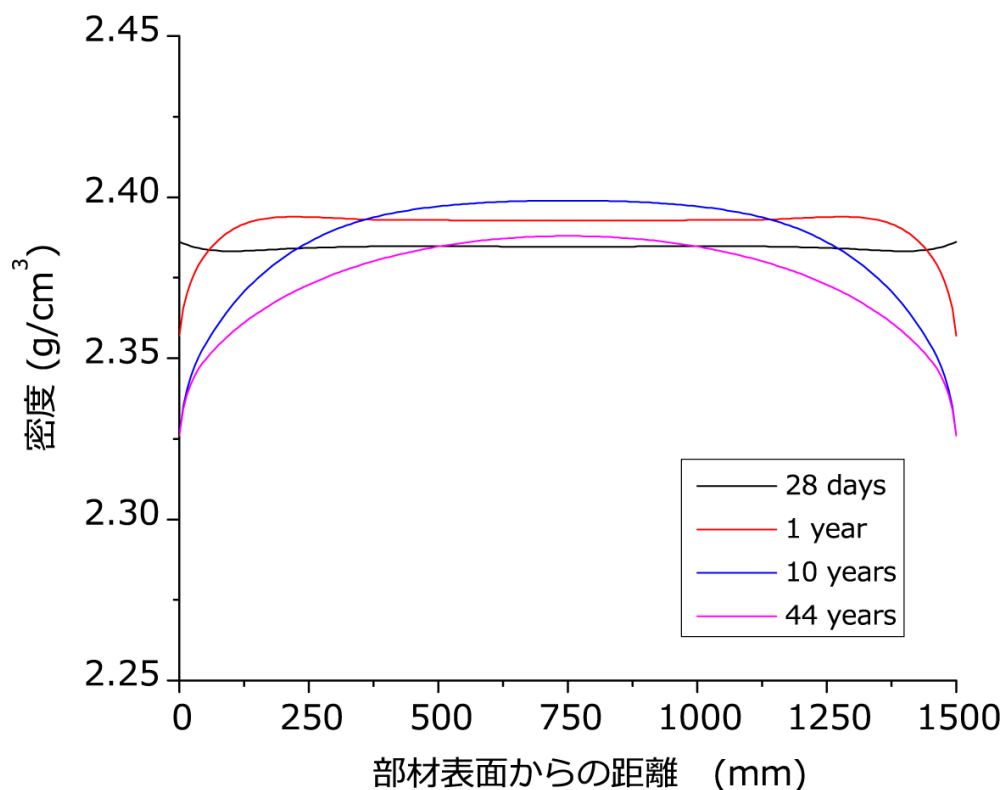
CCBMの概要

03 | 解析結果 (圧縮強度・静弾性係数)



- 内部において追加の水和により圧縮強度・ヤング率が大きくなるなど、試験データの傾向は表現されている。
- ただし、中央部の圧縮強度・ヤング率は試験データと乖離しており、実部材で生じている反応などについてはさらなる分析が必要である。

03 | 解析結果（密度・超音波伝搬速度）



- 密度分布が水分移動によって0.1g/cm³程度変化するなど、試験データの傾向が表現されている。
- ポアソン比、静弾性係数、密度の結果から、超音波伝搬速度も推定が可能である。

04

まとめ・今後の課題と展望

- ① 圧縮強度分布は、表層から中央部まで設計基準強度を上回り、特に中央部が高い値を示す山型の分布であった。これは、表面からの乾燥や部材内部における継続的な水和反応が要因と推測される。
- ② 所定の長尺コアを折取る乾式 A のコア採取工法では、その他工法に比べ部材中央部において圧縮強度の低下がみられ、コア採取時の温度が影響していると推測される。乾式工法の場合には、一定長毎（250mm程度）にコアを折取る工法（乾式 B）の方が温度上昇による影響を受けにくく、湿式と同程度の試験結果が得られることを確認した。
- ③ 水和解析モデルによる部材内部コンクリートの経時解析では、長期的に部材中央部が表層よりも高い値を示し試験データの傾向を再現できている。

- ① 中央部で圧縮強度が高い要因について、結合水率や組成分析等を実施する。
- ② 熱や放射線照射の影響部等について、コア採取と試料分析を進め、高経年化コンクリートデータベースを拡充する。
- ③ 数値解析法や非破壊検査法の適用性検討を行ない、合理的な健全性評価手法を構築する。

- 本研究の一部は名古屋大学（丸山一平教授）との共同研究として実施している。
- 本内容は、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」の一環として実施した研究の成果の一部である。
- 本研究の実施にあたり御指導いただいた
高橋典之 東北大学准教授
濱崎仁 芝浦工大准教授
日比野陽 広島大学准教授
寺本篤史 広島大学助教
に厚く御礼申し上げます。

