



日本原子力学会シンポジウム
「東電福島第一原子力発電所廃炉への取り組み～過去・現在・未来～」
2016年3月6日@フクラシア東京ステーション

(第2部 講演5)

建屋の長期健全性を評価する

日本原子力学会 廃炉検討委員会
建屋の構造性能検討分科会主査
東京工業大学名誉教授

瀧口克己

1. 地震による強い揺れを経験した原子力発電所建屋
柏崎刈羽、福島第一、福島第二、東海第二、女川、志賀、浜岡
2. 原子力発電所建屋の耐震設計法の評価
 - ・静的震度法
 - ・地震応答解析
 - ・設計用地震動
3. 福島第一の各号機の損傷に関する調査と評価
 - ・事故概要
 - ・現時点での安全性評価
4. 廃炉過程での安全性評価
 - ・材料劣化
 - ・重量増加
 - ・許容状態
 - ・想定すべき地震動
 - ・津波
 - ・その他
5. 今後の対応
 - ・温度履歴の影響評価
 - ・設計上の対応策
 - ・補強策
 - ・防錆策

新潟県中越沖地震と柏崎刈羽原子力発電所

◆新潟県中越沖地震

2007年7月16日

マグニチュード M6.8

震源の深さ 17km



[引用資料] 気象庁・資料, 東京電力・資料

東北地方太平洋沖地震と原子力発電所

- ◆東北地方太平洋沖地震
2011年3月11日
マグニチュード Mw9.0
震源の深さ 24km



[引用資料] 東日本大震災合同調査報告書編集委員会,
東日本大震災合同調査報告, 原子力編 2015.1
(元資料は報告書に記載されている)

被害写真（新潟県中越沖地震）



被害写真（東北地方太平洋沖地震）



写真2.1.1 PC梁に取り付くRC柱のせん断破壊



写真2.2.1 3階建て部分の倒壊(西面)

[引用資料] 東日本大震災合同調査報告書編集委員会, 東日本大震災合同調査報告
建築編2, 2015.1

【2007年 新潟県中越沖地震】

- 柏崎刈羽原子力発電所 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7号機

【2011年 東北地方太平洋沖地震】

- 福島第一原子力発電所 1, 2, 3, 4, 5, 6号機
- 福島第二原子力発電所 1, 2, 3, 4号機
- 東海第二原子力発電所
- 女川原子力発電所 1, 2, 3号機

基準地震動を超えた揺れを観測した原子力発電所

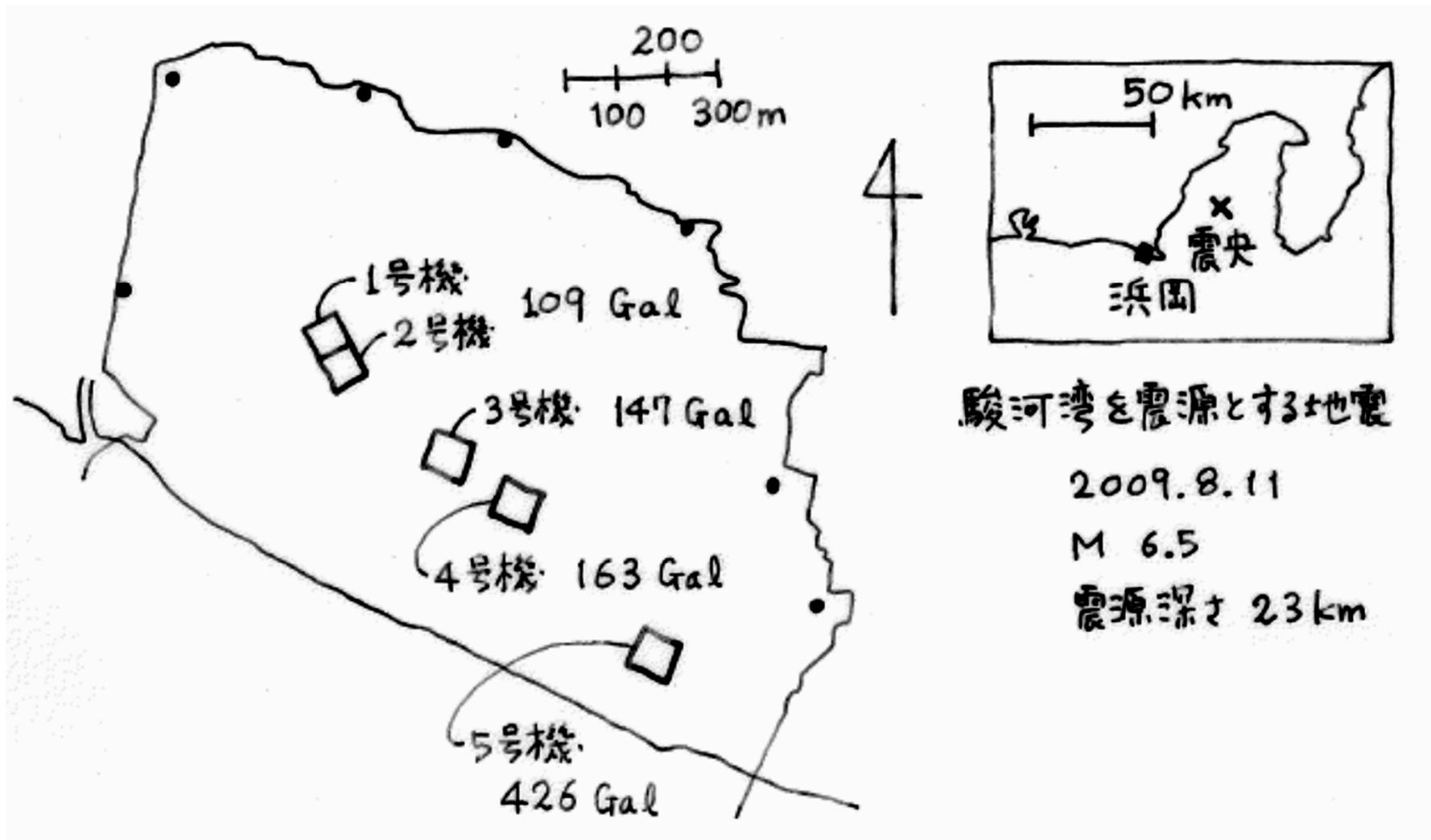
8

1. 宮城県沖地震 2005.8.16 マグニチュード 7.2
女川原子力発電所(東北電力) 旧基準*(1981年制定)
2. 能登半島地震 2007.3.25 マグニチュード 6.9
志賀原子力発電所(北陸電力) 旧基準*(1981年制定)
3. 新潟県中越沖地震 2007.7.16 マグニチュード 6.8
柏崎刈羽原子力発電所(東京電力) 現行基準(2006年改定)
4. 東北地方太平洋沖地震 2011.3.11 マグニチュード 9.0
女川原子力発電所(東北電力) 現行基準(2006年改定)
福島第一原子力発電所(東京電力) 現行基準(2006年改定)

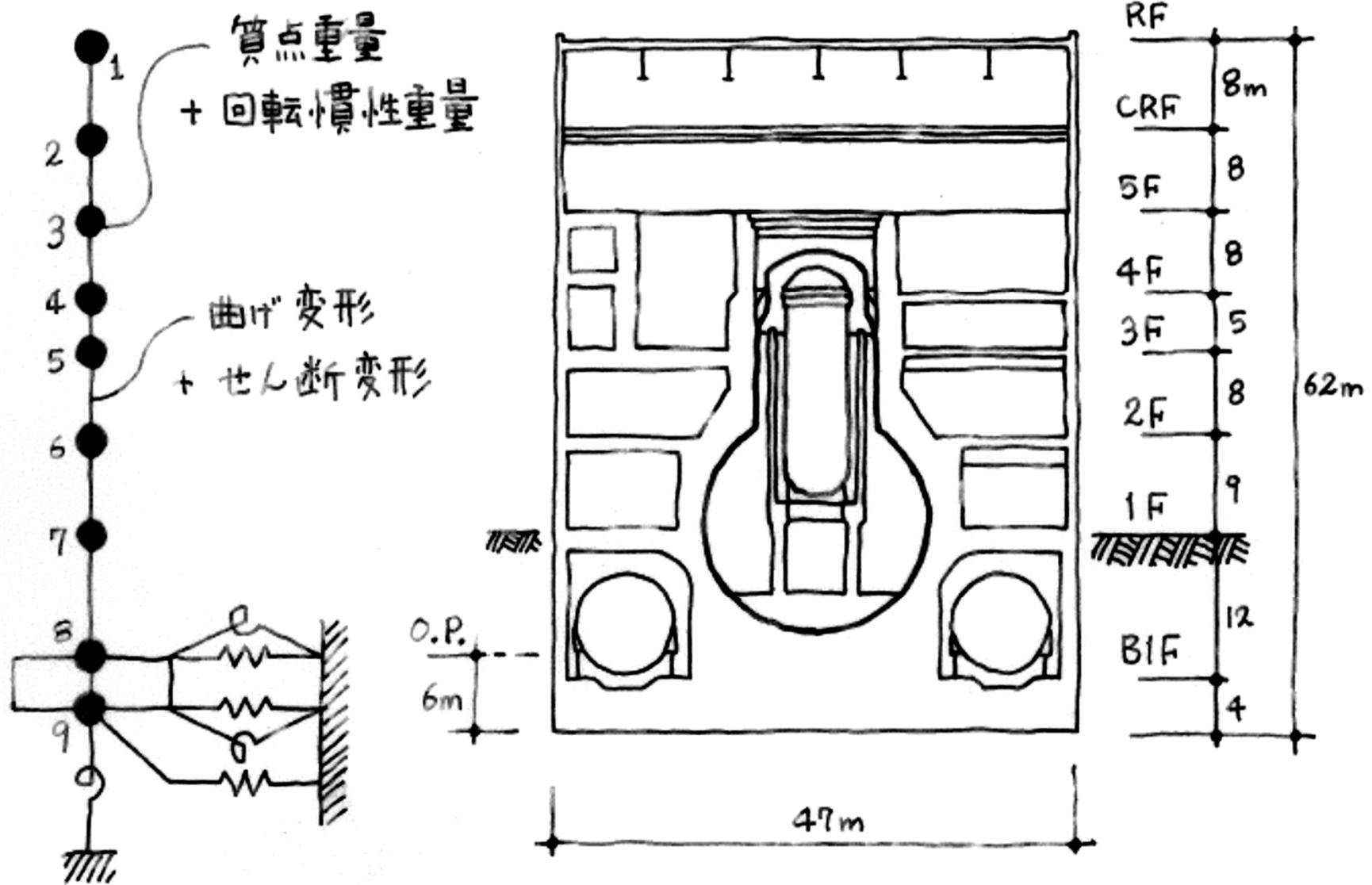
*「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」:原子力安全委員会

[参考資料] 毎日新聞記事 2015.4.15 原発で基準地震動を超えた地震
ウィキペディア・耐震基準 他

駿河湾を震源とする地震時に浜岡原子力発電所で観測された地震動

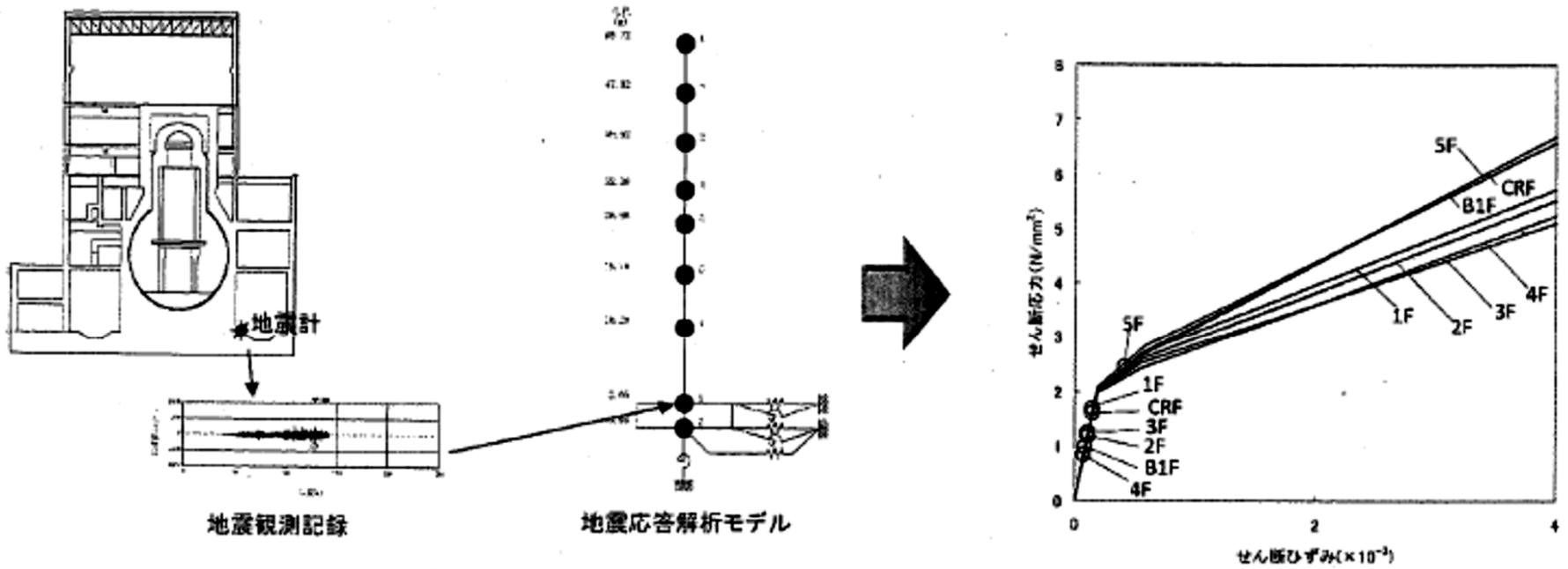


[引用資料] 原子力規制委員会・防災資料
中部電力・駿河湾の地震に関する浜岡原子力発電所の状況 2010.11.23



[引用資料] 東京電力 各種資料

福島第一・2号機 耐震壁の地震時せん断ひずみ 11



基礎版上の地震観測記録を解析モデルへ入力 せん断ひずみの算出・影響評価の実施

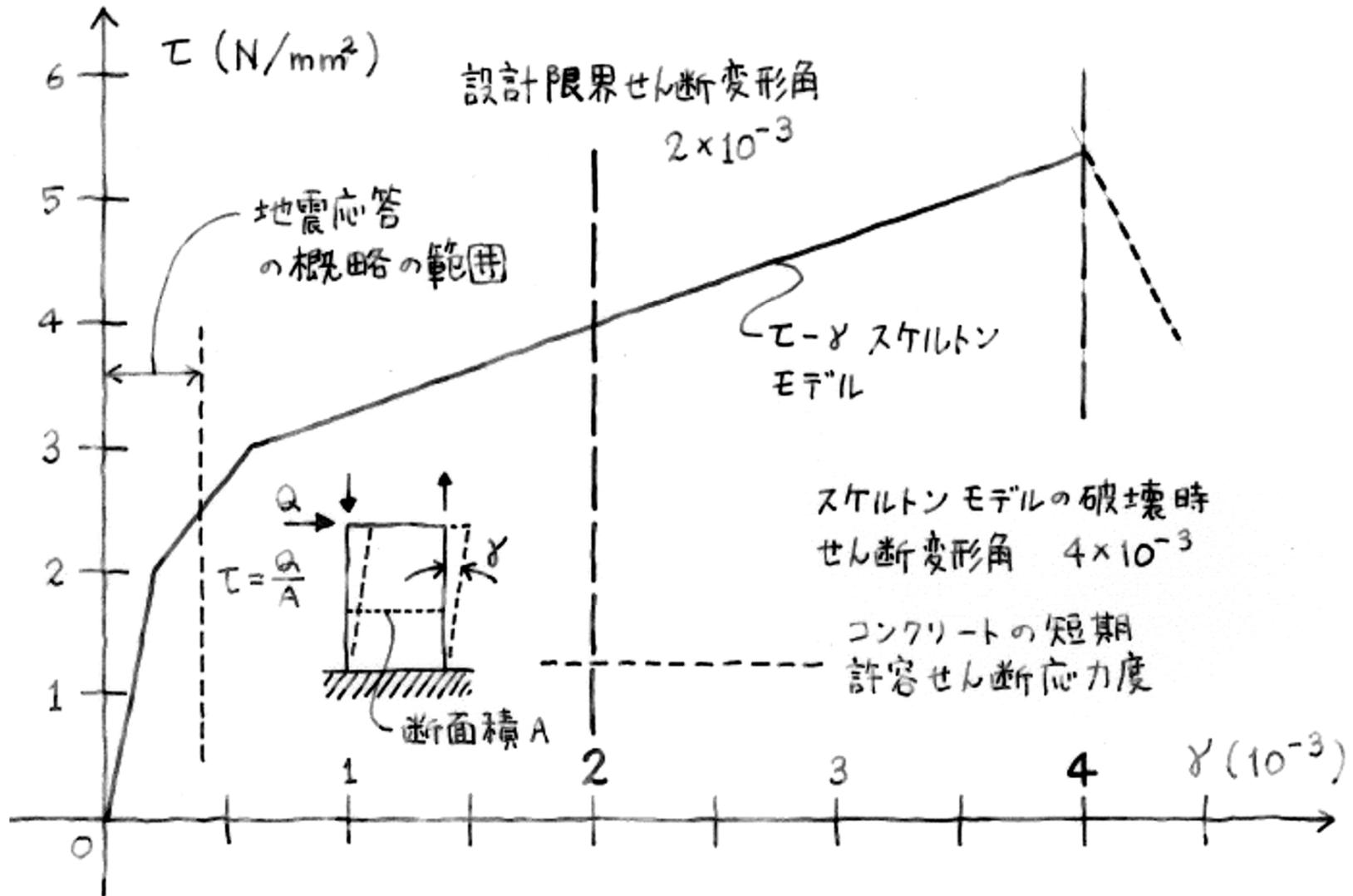
図2.4.1.1.4 2号機原子炉建屋の耐震壁せん断ひずみ (参考文献2.4.1.1(2)より引用)

[参考文献] 2.4.1.1(2) 旧原子力安全・保安院, 建築物・構造に関する意見聴取会(第1回) 「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による原子力発電所への影響検討について(建築物・構造, 機器・配管系の地震応答解析結果)」, 平成23年9月29日

<http://www.nsr.go.jp/archive/nisa/shingikai/800/25/001/1-4-1.p>

[引用資料] 東日本大震災合同調査報告書編集委員会, 東日本大震災合同調査報告, 原子力編 2015.1

せん断力とせん断変形角の関係モデル



[参考資料] 東京電力 福島第一原子力発電所3号機の耐震安全性について, 平成22年5月 他
 日本電気協会, 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601

いわゆる 静的震度法

静的層せん断力係数法(1981年～)

(許容応力度設計法)－(外力・許容応力度・計算法)

(線形設計法)

$$Q_i = \overline{C}_i \cdot \sum W_i$$

$$\overline{C}_i = n \cdot C_i$$

$$C_i = Z \cdot R_t \cdot A_i \cdot C_o$$

$$C_o = 0.2$$

Q_i : 層せん断力

C_i : 層せん断力係数

Z : 地震地域係数

A_i : 地震層せん断力分布係数

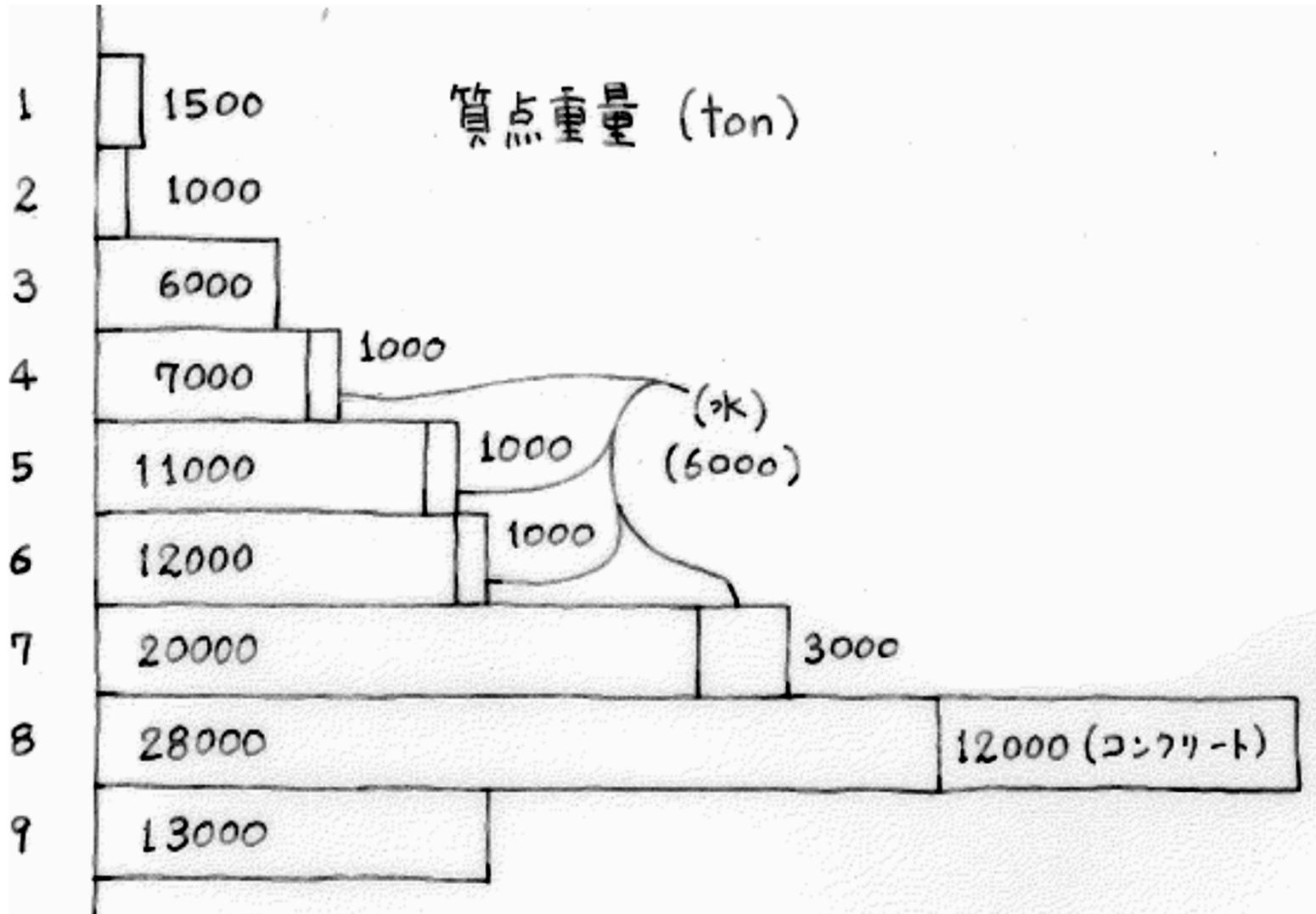
C_o : 標準層せん断力係数

- 地震による揺れ
- 温度履歴
- 海水注入
- 炉心溶融
- 津波
- 内圧履歴
- ホウ酸水注入
- 水素爆発

他

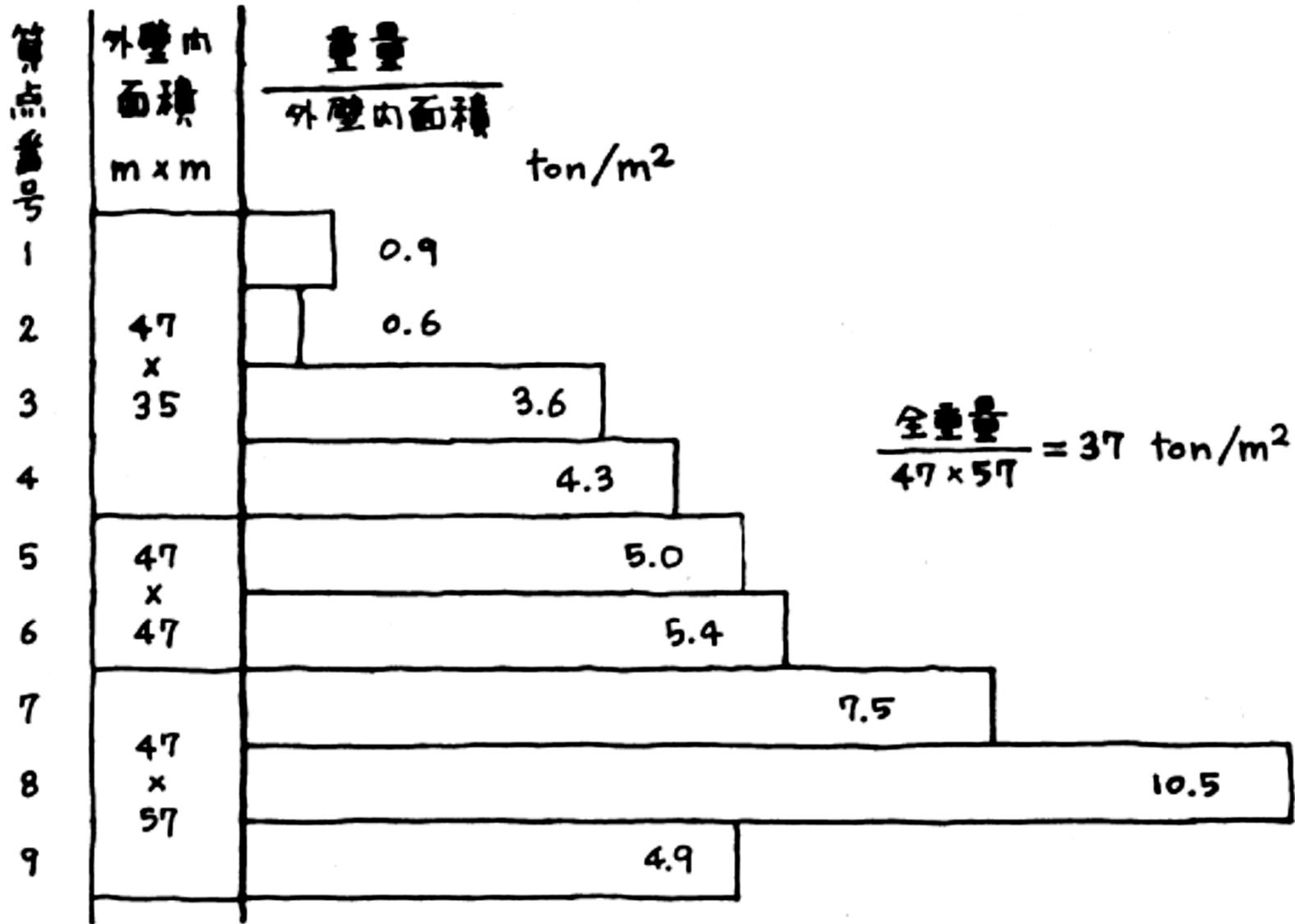
[参考資料] 東日本大震災合同調査報告書編集委員会, 東日本大震災合同調査報告, 原子力編 2015.1
石川迪夫: 考証, 福島原子力事故 炉心溶融・水素爆発はどう起こったか, 2014.3 日本電気協会新聞部

福島第一・2号機の質点重量



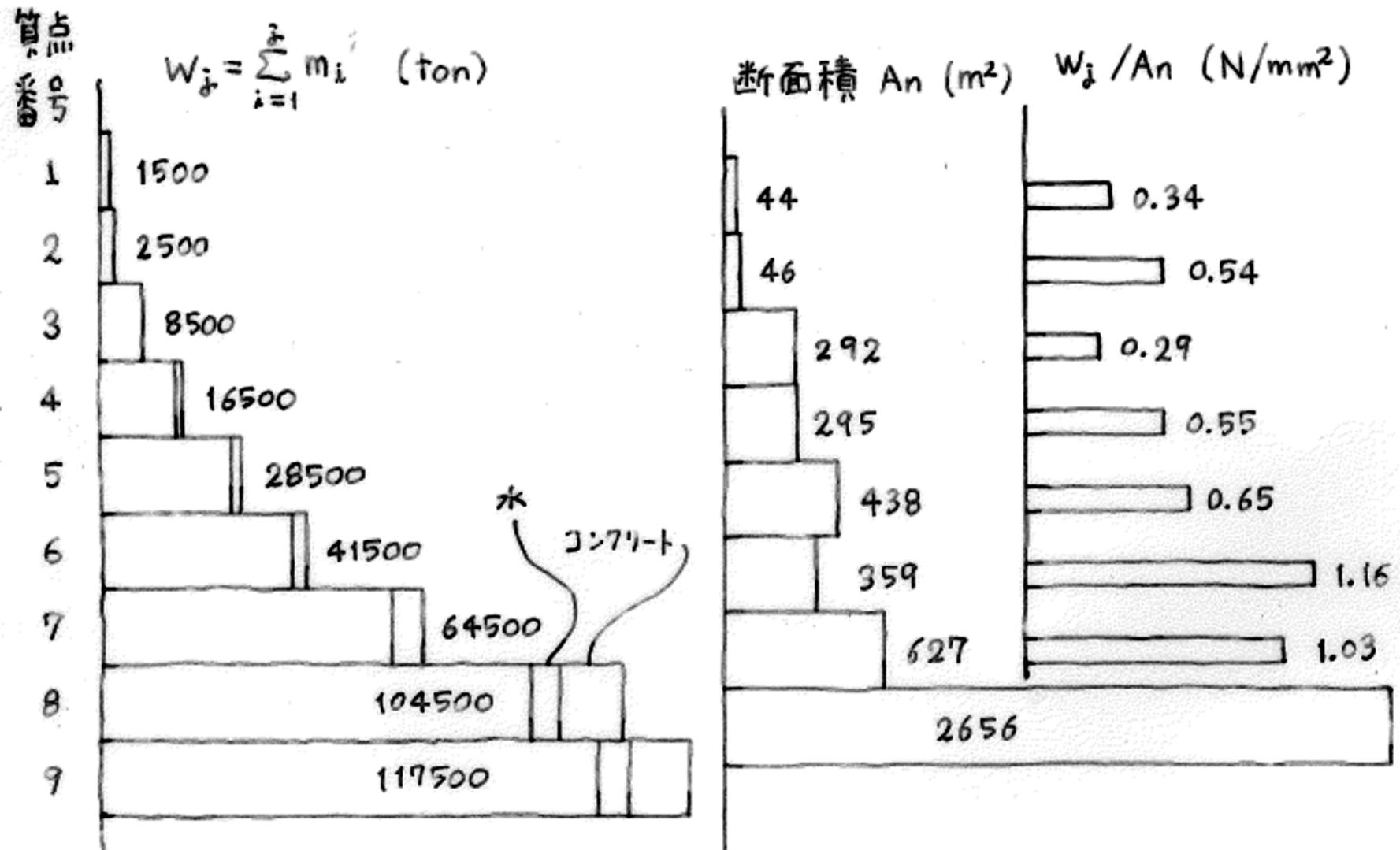
[参考資料] 東京電力, 建屋の構造性能検討分科会資料

福島第一・2号機の単位面積当たりの重量



[参考資料] 東京電力, 建屋の構造性能検討分科会資料

福島第一・2号機の構造概要（静的震度法的検討） 17



[参考資料] 東京電力, 建屋の構造性能検討分科会資料

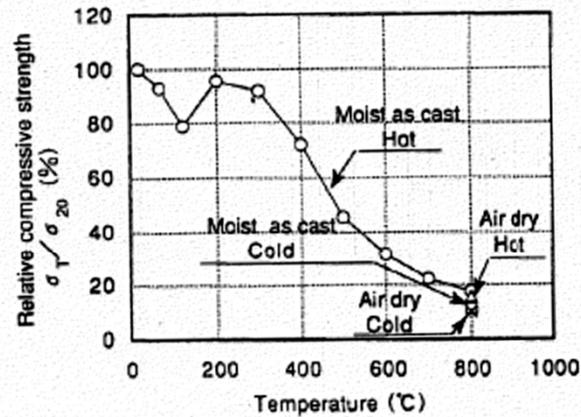


Fig. 7. Effect of curing conditions and temperature of the specimen tested on uniaxial compressive strength.

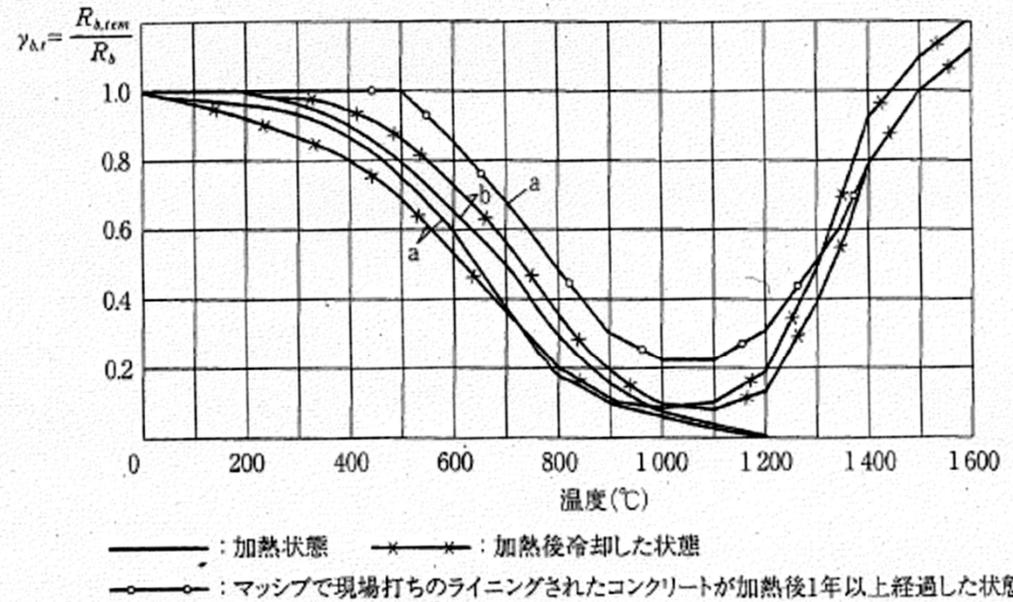
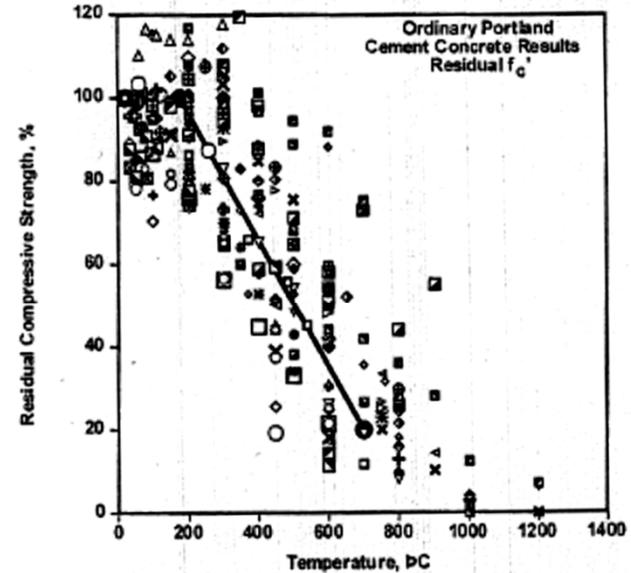
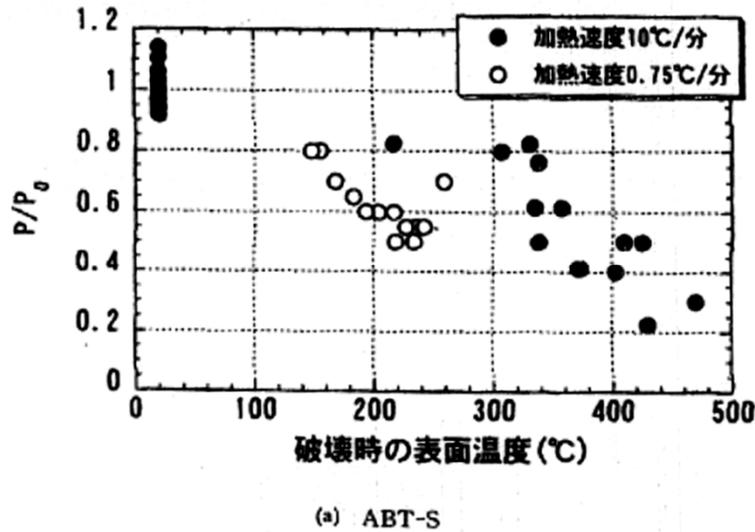


図-2.5 花崗岩(a)および石灰岩(b)を用いた普通コンクリートの圧縮強度の変化に及ぼす高温の影響

[引用文献] (左図) N.Yanamazaki, M.Yamazaki, et Al., Structural behavior of reinforced concrete structures at high temperatures, Nuclear Engineering and Design 156(1995)121-138

(右図) 青柳征夫訳, チェルノブイリ原子力発電所事故
 -コンクリート構造物に及ぼした影響-, 2013.5, 技報堂(原本は2000年刊行)



解説図 4-5 コンクリートの加熱冷却後の圧縮強度残存比と加熱温度の関係³⁹⁾

- [参考文献] 39) Nuclear Regulatory Commission : NUREG/CR-7031, A Compilation of Elevated Temperature Concrete Material Property Data and Information for Use in Assessments of Nuclear Power Plant Reinforced Concrete, pp.67, Figure 2.91
- [引用文献] (左図) 橋本 淳, 瀧口克己, 熱を受ける埋め込みボルトの引抜きに関する実験
日本建築学会構造系論文集 第568号, 123-129, 2003.6
- (右図) 日本建築学会, 原子力施設における建築物の維持管理指針・同解説 2015

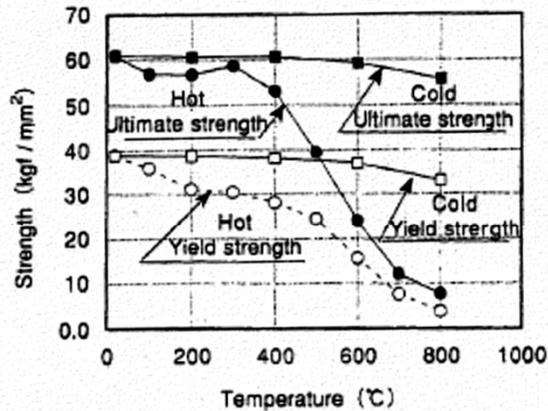
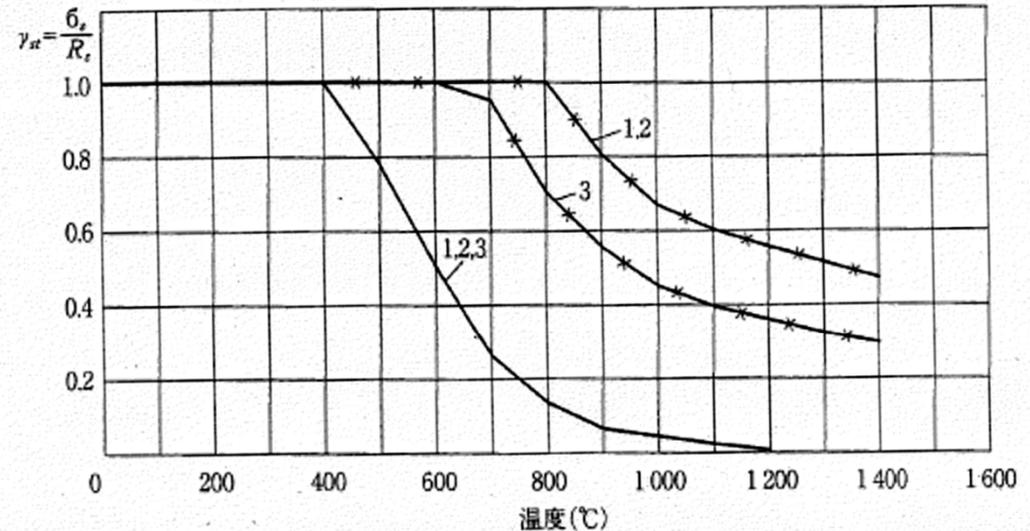


Fig. 15. Yield strength and ultimate tensile strength of reinforcing bars as functions of temperature.



1: 等級A240 2: 等級A300 3: 等級A400 — : 加熱状態 *—* : 冷却状態

図-2.9 鉄筋の引張強度に及ぼす高温の影響

[引用文献] (左図) N.Yanamazaki, M.Yamazaki, et Al., Structural behavior of reinforced concrete structures at high temperatures, Nuclear Engineering and Design 156(1995)121-138

(右図) 青柳征夫訳, チェルノブイリ原子力発電所事故—コンクリート構造物に及ぼした影響—, 2013.5, 技報堂 (原本は2000年刊行)

温度履歴を受けた「コンクリート」と 「鉄筋」と「鉄筋コンクリート」の把握すべき力学特性

- 圧縮強度
- 引張強度
- 変形特性
- 付着特性
- 骨材のかみ合い
- その他

- 部材特性
- 寸法効果

- 均質性
- 等方性

- 資料(実験・解析・設計計算)の蓄積
- 資料評価の質向上

- 許容状態に関する合意形成
 - ・想定される損傷の水準
 - ・知見や計算の精度の水準