

# 論文 アルカリ骨材反応を生じたタービン発電機架台の経年変化と膨張量

高倉 岳夫\*1・石川 達也\*2・松本 直樹\*3・大島・龍一\*4

**要旨** : アルカリ骨材反応を生じた構造物はひび割れが発生すると共にコンクリートが膨張することが一般的に知られている。しかし、実構造物のアルカリ骨材反応の確認後に膨張量を把握することは困難である。検討対象としたタービン発電機架台は運用開始後にアルカリ骨材反応により膨張していることが認められた後、構造物の伸びや鉄筋ひずみなどの計測を開始し、現在まで継続している。ここでは、それら計測結果をもとに、タービン発電機架台の構造解析に用いる膨張量を設定した。

**キーワード** : アルカリ骨材反応, タービン発電機架台, 計測, 経年変化, 膨張量

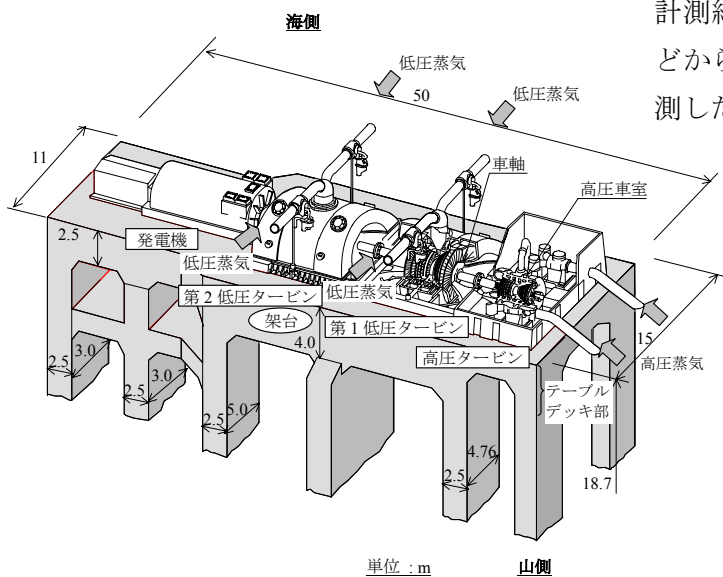
## 1. 概要

今回報告するタービン発電機架台（以下「TG架台」という）は1975年に構築し、1977年に運転を開始したタービンと発電機を支持する鉄筋コンクリート製の架台である（図-1）。運用開始後の1979年の定期点検時に発電機車軸と軸受け間に建設時の設定値と異なる変化が見られた。その後、1982年にひび割れがTG架台梁側面で観察され、テーブルデッキの変形計測を開始した。1986年にはコアサンプリングの実施と鉄筋ひずみ計測を開始し、コアサンプリング試験結果等から架台変状の原因をアルカリ骨

材反応であると判断した。TG架台は建屋内に配置されているが、特にテーブルデッキ部は運転中にタービンの発熱等の影響を受ける環境である。

既往の文献等において、促進膨張試験や供試体暴露試験での膨張量の観測や検討は多々あるが、実機の膨張量を検討もしくは予測したケースは極めて少ない。<sup>3),4)</sup>

今回対象とするTG架台は、建設から計測開始までの状況が確認できないため、アルカリ骨材反応によるコンクリートの膨張量が正確には把握出来ない状態であった。そこでTG架台の計測結果や、タービン発電機本体の調整記録などからアルカリ骨材反応による全体膨張量を予測した。



- ・長さ : 50.0m
- ・幅 (タービン側) : 15.0m
- ・幅 (発電機側) : 11.0m
- ・高さ : 18.7m  
(基礎マット上端から)

- 鉄筋**
- ・異型鉄筋 SD345 (旧 SD 35)
- コンクリート**
- ・設計呼び強度 : 21N/mm<sup>2</sup> (210kg/cm<sup>2</sup>)
  - ・セメント : 中庸熱セメント
  - ・細骨材 : 洗砂 愛媛県今治市蒼社川沖
  - ・粗骨材 : 砕石 山口県柳井産 安山岩<sup>5)</sup>

図-1 タービン発電機とタービン架台(TG架台)の概念図

\*1 三菱重工業 (株) 原動機事業本部 火力プロジェクト部 (正会員)  
 \*2 四国電力 (株) 原子力部 工博  
 \*3 四国電力 (株) 土木建築部  
 \*4 三菱重工業 (株) 軽水炉プラント部 工修

## 2. アルカリ骨材反応の状況

TG架台の軸受け部に軸方向隙間の変化が認められた後の1982年以降順次、膨張等の状態を継続的に把握する為の調査・計測を開始した。調査・計測項目は、TG架台上面のテーブルデッキ部の伸び、コンクリート表面のひび割れ状況、内部鉄筋ひずみなどである。また、適宜コアサンプルによる物性の確認試験などを行っている。

### 2.1. テーブルデッキの伸び

TG架台の伸び測定用のベンチマークは、**図-2**に示すように海側/山側にそれぞれ10箇所設けており、海側/山側の変化量を測定することが可能である。ベンチマーク間寸法計測は1981年12月より開始された。

**図-3**は1981年12月を初期値とした2004年までの軸方向伸びの記録である。伸びの状況は1987年頃までは増加傾向にあるが1987年以降はその伸び増加率を減じ、ここ10年程度は収束している。また、季節変動および機器の運転状況の変化に伴う温度変化に追従した挙動推移を示す傾向も見られ、運転時には約10mm相対的に伸びている。

### 2.2. ひび割れ状況

**図-4**は2002年時点のTG架台山側表面のひび割れ状況図である。主なひび割れは主筋の配

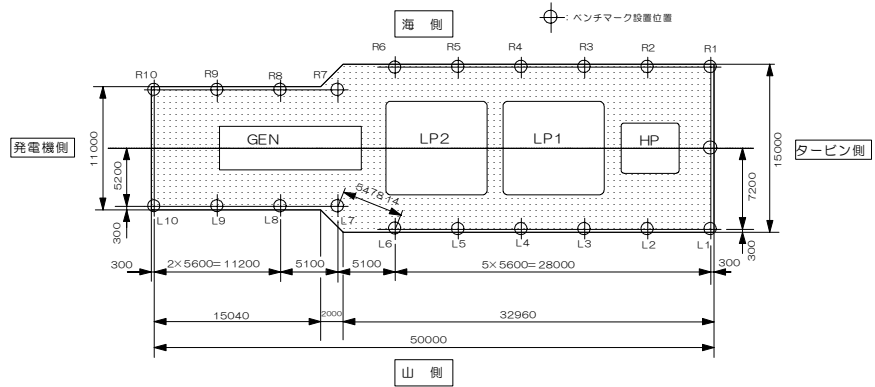


図-2 ベンチマーク位置

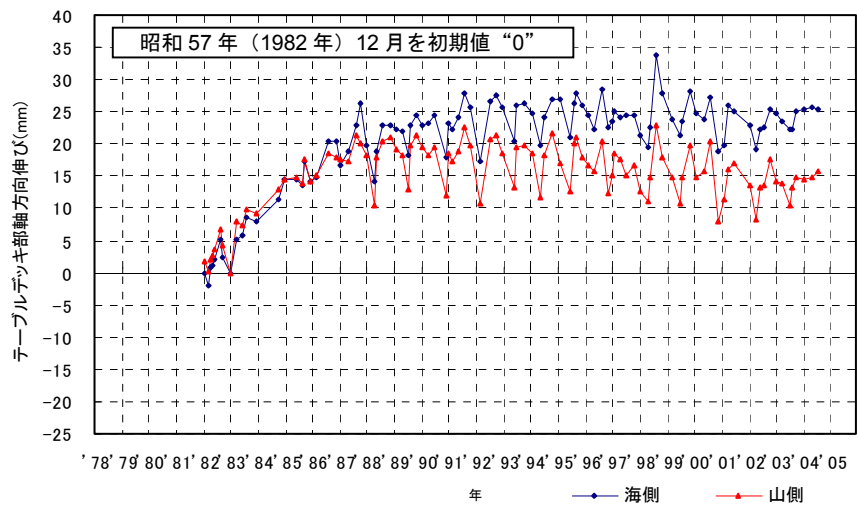


図-3 TG架台軸方向伸びベンチマーク計測値

置された方向に多く、タービン部の梁下部では主筋に対し直角方向にひびが入っているケースも見られる。

観測初期にはテーブルデッキの主筋方向と柱頭部に数本のひび割れが見られる程度であったが、タービン発電機架台の伸びの進行に伴いひび割れも進行した。しかし、ひび割れ状況も伸びと同様、ここ10年程度新たなひび割れの発生は特に見られない。尚、これらひび割れは現在補修を施されている。

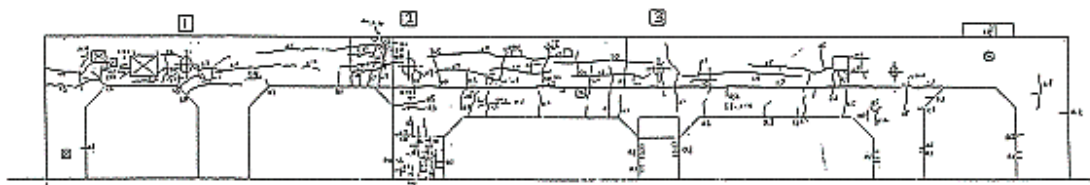


図-4 ひび割れ状況(山側側面)

### 2.3. 鉄筋ひずみ

鉄筋ひずみは1986年より計測を開始し、主筋に鉄筋計を設置し直接測定した。鉄筋ひずみの計測箇所を図-5に示す。鉄筋ひずみ計測においても伸びと同様収束している傾向が見られ、1989年～92年頃より比較的安定し、主筋のひずみは500～1000 $\mu$ 程度であった。図-6に代表としてM1部主筋の計測結果を示す。

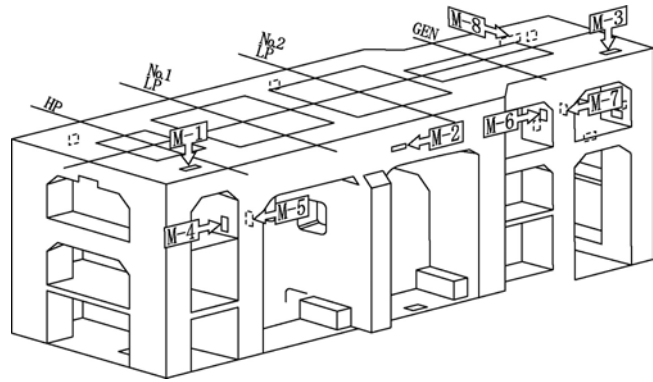


図-5 TG 架台の鉄筋ひずみ計測箇所

### 2.4. コンクリートコアによる調査結果

TG架台コンクリートの各種物性とアルカリ骨材反応の進行状況を把握するため、適宜コアサンプルによる調査をおこなっている。<sup>1),2)</sup>

以下、2002年のコアサンプルの調査結果について記す。圧縮強度と静弾性係数は1986年と1989年及び1992年の調査結果を併記した。

#### (1) 圧縮強度

これまで実施したコンクリートコアによる圧縮試験結果を図-7に示す。図にはコア採取箇所当たりの平均値を示すが、圧縮強度は設計基準強度20.6 N/mm<sup>2</sup>を上回っている。

テーブルデッキ部の強度は、柱部の強度に

比べ若干低い値を示しているが、ばらつきが大きく、明確な経年劣化の傾向は見られない。

#### (2) 静弾性係数

圧縮試験より得た静弾性係数を図-8に示す。テーブルデッキ部については、設計基準強度

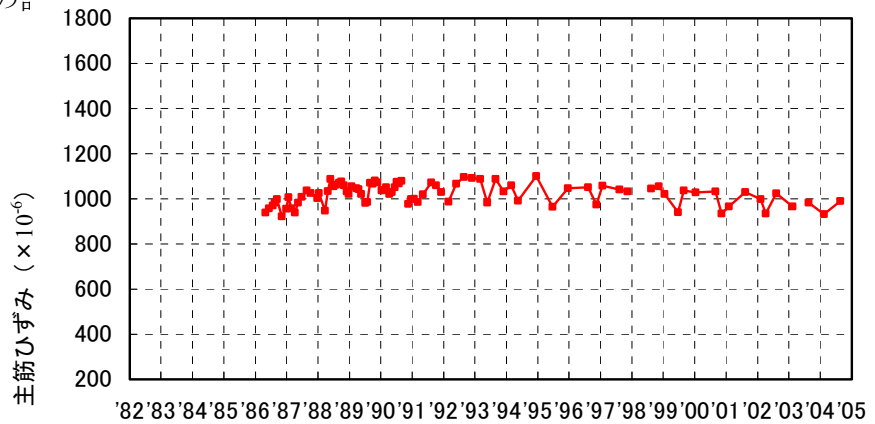


図-6 鉄筋ひずみの推移(M-1)

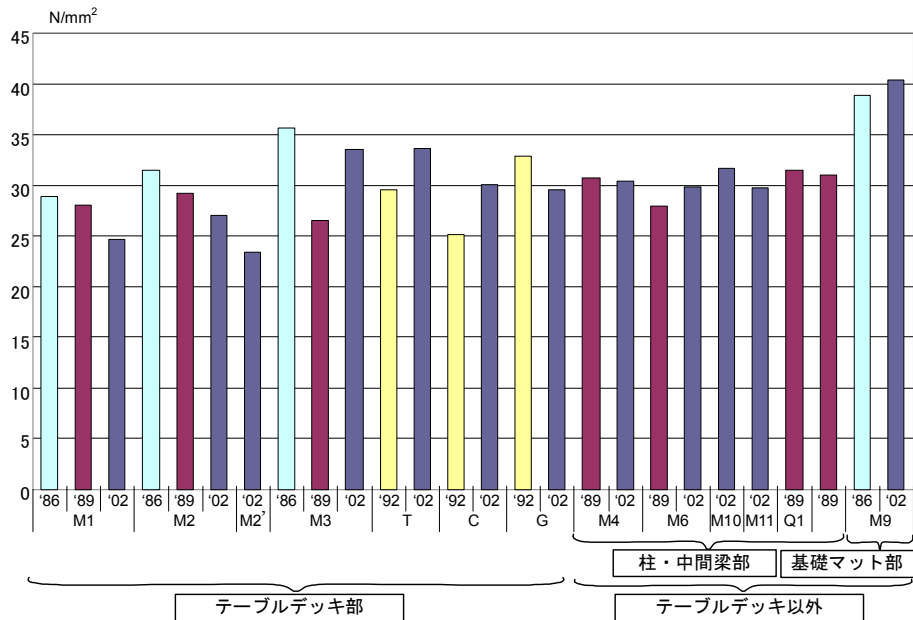


図-7 コアサンプルによる圧縮強度

20.6 N/mm<sup>2</sup> に対する静弾性係数  $20.6 \times 10^4$  N/mm<sup>2</sup> を下回っており、ASRが進行すると特に静弾性係数の低下が顕著であるという既往の知見と調和的である。また、圧縮強度と同様に、明確な経年劣化の傾向は見られない。

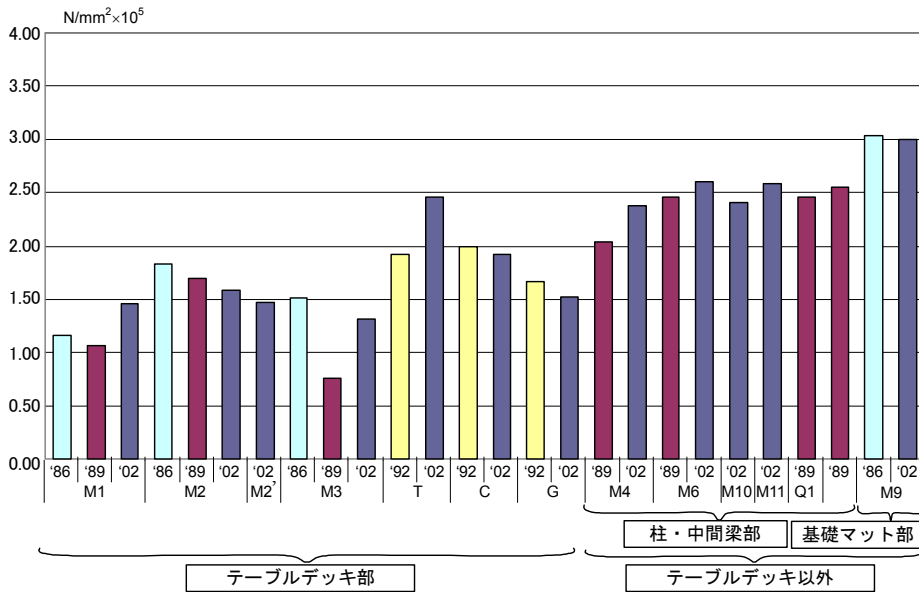


図-8 コアサンプルによる静弾性係数

## 2.5. 考察

TG架台コンクリートのひび割れや伸び、鉄筋ひずみの状況より、アルカリ骨材反応はここ10年ほどの間収束した状態が継続している。また、アルカリ骨材反応の影響はテーブルデッキ部で顕著であり、テーブルデッキ以外の部位についてはその影響は小さいものと判断できる。

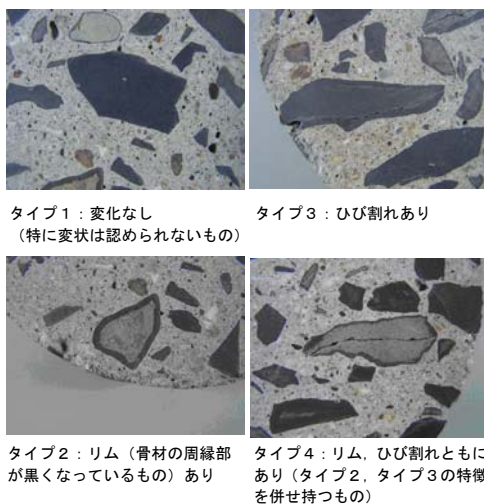
### (3) コア切断面の観察

アルカリ骨材反応が進展すると骨材の反応リムや割れが認められることから、採取したコンクリートコアを厚さ2cm程度に切断後研磨した(コア採取箇所1箇所につき6面)について、粗骨材を4種に分類しその個数をカウントした。その結果を図-9に示す。テーブルデッキとテーブルデッキ以外について比較すると、テーブルデッキではタイプ2(反応リムあり)以上の割合が大きいだけでなく、ASRの影響を最も顕著に表すと考えられるタイプ4(反応リム・ひび割れあり)の割合も大きくなっている。

### 3. テーブルデッキ部の膨張量

タービン発電機本体の隙間寸法の概念図を図-10に示す。

蒸気タービン車室は、車室固定点(アキシアルキー)を起点として台板(架台)上をスライドする構造となっており、車軸は車室に固定されているスラスト軸受けにより位置決めされている。架台の伸びがあった場合、高压タービン車室と台板の相対位置が変化するが、高压・低压タービンの車室等静止部と車軸回転部の間隙は、このスライド構造のため架台の軸方向変形の影響を受けない構造となっている。



コアの採取場所と骨材のタイプの関係

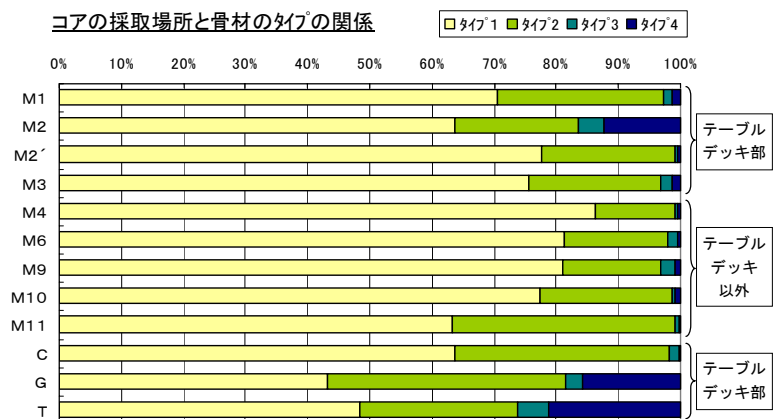


図-9 コアサンプル破断面のタイプ別の分類

また、発電機フレームは、フレーム中心の発電機固定点を起点に台板上を伸びる構造となっており、発電機車軸は蒸気タービン車軸とカップリングにて結合されている。

以上のことから、テーブルデッキ部に伸びがあった場合は、発電機の軸受けと車軸の相対位置が変化するため、発電機軸受隙間寸法（エンドプレー値）の変化によりテーブルデッキ伸び量が把握できる。なお、この相対位置の変化は、定期検査時に必要に応じてスペーサを組み込み修正しており、隙間寸法については、建設時（1976年2月）及び以降の定期検査時に計測している。

構造解析に用いる膨張量は、海側・山側の伸びの推移が把握できるベンチマーク間寸法の計測結果を基本データとするが、ベンチマーク間寸法計測記録のない1982年12月以前は発電機軸受隙間寸法の変化量を架台全長換算した値を使用した。尚、海側・山側はそれぞれ膨張量に差異が生じており、その計測差の推移から1982年12月時点で、海側・山側の軸方向伸び差が4mm生じていたものと想定し、テーブルデッキ伸びの推移を整理した。

この結果、設定されるTG架台の膨張量を図-11に示す。

解析に使用するテーブルデッキ伸び量として、海側コンクリート要素については、最近の推移より50mmの軸方向伸びを設定するとともに、温度変化に伴う伸び量として10mm（200 $\mu$ の歪みに相当）を見込んだ。また、海側・山側の軸方向伸び差は、最近の推移より16mmと設定した。

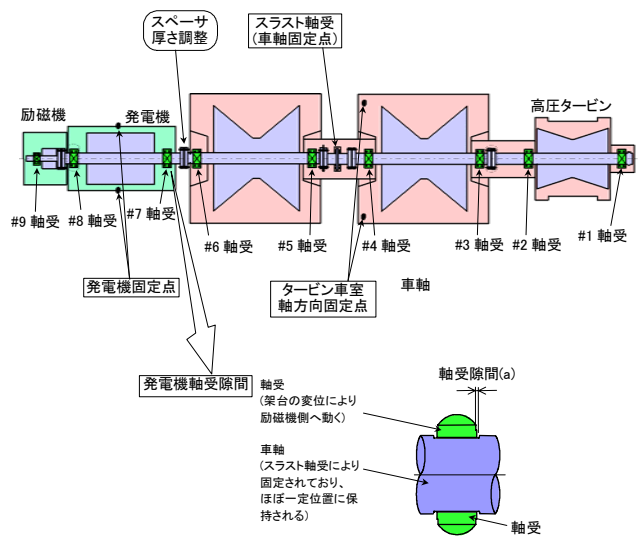


図-10 タービン発電機本体の隙間寸法の概念図

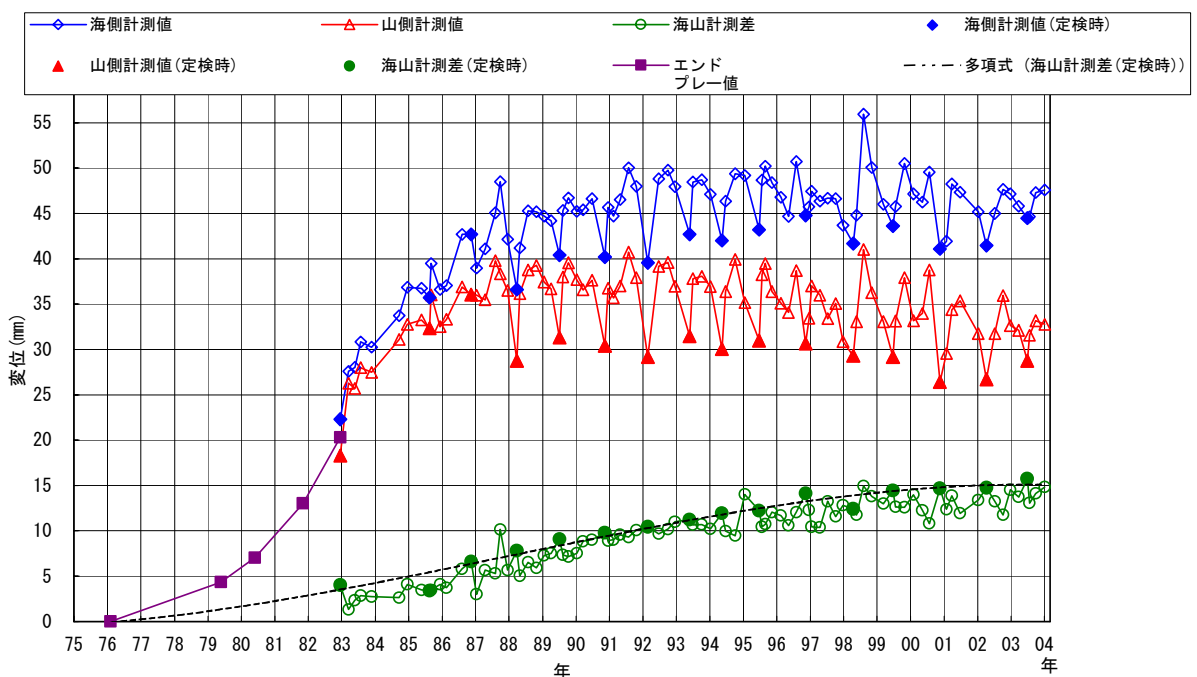


図-11 タービン架台の膨張量

#### 4. まとめ

以上、結果を以下に記す。

- (1) タービン発電機架台のアルカリ骨材反応は、この 10 年ほどの間、収束状態が継続している。
- (2) テーブルデッキ以外の部位については、アルカリ骨材反応による影響はテーブルデッキ部よりかなり小さい。
- (3) 温度変化分も含め、テーブルデッキ軸方向の最大伸びは海側で 50mm (1000 $\mu$ ) である。

本検討は四国電力株式会社で設置された「ASR 鉄筋コンクリート構造物の強度評価方法検討会」(委員長：瀧口克己東京工業大学教授, 委員：梶田佳寛宇都宮大学教授, 西口磯春神奈川県工科大学教授)のもとで、四国電力株式会社, 三菱重工業株式会社, 大成建設株式会社が検討した一部である。

#### 5. 参考文献

- 1) 小林一輔ほか：コンクリート構造物の耐久性診断シリーズ2 アルカリ骨材反応の診断, pp.39-41, 森北出版, 1991
- 2) 小林一輔ほか：コア採取によるコンクリート構造物の劣化診断法, pp.35-40, 森北出版, 1998
- 3) 小林一輔：アルカリ骨材反応, コンクリート工学, Vol.40.No.1, pp.36-40, 2002
- 4) 建設省総合技術開発プロジェクト：コンクリートの耐久性向上の開発報告書〈第一編〉, 建設省, pp.151-201, 昭和 63 年(1988)
- 5) アルカリ骨材反応調査研究委員会報告書, 日本コンクリート工学協会 アルカリ骨材反応調査研究委員会, pp.9-19, 平成元年 (1989)