

平成 16 年台風 16 号, 台風 18 号による Spring-8 屋根の被害調査報告

大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 谷池義人
独立行政法人建築研究所構造研究グループ 奥田泰雄
財団法人 日本建築総合試験所 耐風試験室 西村宏昭

1. はじめに

平成 16 年 8 月 30 日の 20 時過ぎ, 台風 16 号に伴う強風を受けて, 兵庫県播磨科学公園都市にある大型放射光研究施設 SPring-8 の蓄積リング棟 C ゾーンの屋根の一部が破損し, 雨水が内部に浸入した。

それより約 1 週間後の 9 月 7 日 14 時頃, 台風 16 号と似たコースを辿った台風 18 号の強風により, 蓄積リング棟の D ゾーンの屋根の一部が破損する被害が発生した。台風 18 号による被害は台風 16 号による被害と異なる位置の屋根である。

本報告は, 2 回の被害の現地調査結果報告であり, 被害状況と強風との関係について報告するものである。

2. 気象概要

台風 16 号は 8 月 19 日マーシャル諸島付近の海上で発生し, 24 日には沖ノ島島東海上で中心気圧 910hPa, 最大風速 55m/s の「猛烈な台風」にまで発達した。その後も非常に強い勢力を保ち北西に進み, 30 日 9 時半頃には強い勢力のまま鹿児島県串木野市付近に上陸した。その後, 向きを北東に変え 30 日 17 時過ぎには山口県防府市付近に再上陸し, 中国地方を通過し日本海を北東に進んだ。兵庫県においても各所で強い風を観測している。姫路測候所では 8 月 30 日 20 時 14 分南南東の風最大瞬間風速 42.5m/s, 洲本測候所では 20 時 42 分南南西の風最大瞬間風速 43.7m/s, 神戸海洋気象台では 23 時 48 分南南西の風最大瞬間風速 32.5m/s をそれぞれ記録している。

台風 18 号は 8 月 28 日マーシャル諸島で発生し, 9 月 3 日には「大型で非常に強い台風」にまで発達した。台風は 5 日には南西諸島に達し, その後向きを変えて, 「大型で強い」勢力を保ったまま 7 日 9 時 30 分に長崎県に上陸し, その後速度を上げて日本海を北東に進み, 8 日朝には北海道西方沖に達した。兵庫県における気象記録は, 姫路測候所で 9 月 7 日 16 時 11 分南南東の風最大瞬間風速 39.2m/s, 洲本測候所では 16 時 31 分南の風最大瞬間風速 45.4m/s, 神戸海洋気象台では 18 時 22 分南の風最大瞬間風速 34.2m/s を観測している。

兵庫県内の風の観測から, 台風 18 号の風が台風 16 号よりわずかに強く, また風向は両台風ともに南寄りの風であった。

3. Spring-8 の被害概要

大型放射光研究施設 SPring-8 は世界最大の放射光研究施設で, 高さ約 10m, 直径 500m,

幅約 28m のドーナツ状の平面の特殊な形状の建物である。

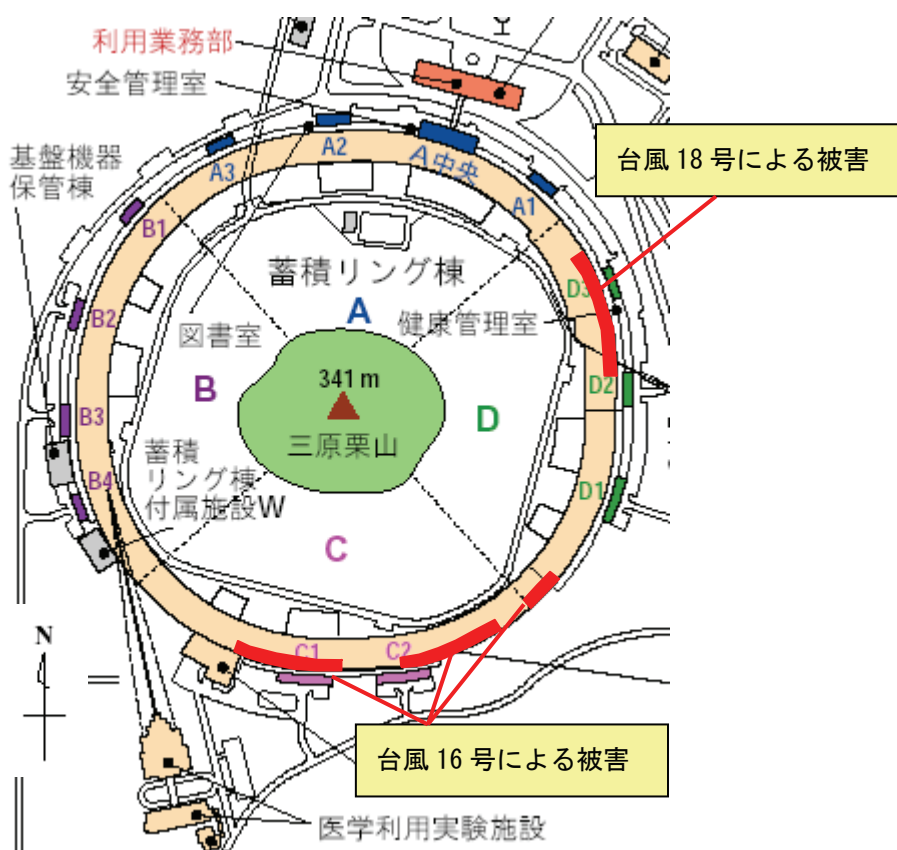
周辺は緩やかな起伏のある丘陵地である。当該建物の南側はゴルフ場で、そこより崖を駆け上がった風が当該建物に当たったと考えられるが、その傾斜は比較的緩やかであり、崖の端から当該建物までに距離があることから、地形の影響によって接近風が加速する効果はさほど大きくないと考えられる。SPring-8 のドーナツ状の平面の中には建物より高い山があるが、風荷重に及ぼす効果は分からない。

被害の状況を写真 1 に示す。破損した屋根は軒先からめくれ、雪留めアングルで折れ曲がっている。



写真 1 被害の状況

図 2 屋根が剥離した箇所



被害があった屋根の平面箇所を図 2 に示す。強風で破損した部分は、台風 16 号のとき南側（C ゾーン）の 3 箇所、台風 18 号では東側（D ゾーン）の 1 箇所である。SPring-8 の平面系はほぼ円形に見えるが、実際には 4 箇所に直線部分がある。破損した屋根は曲線部だけで直線部にはない。

屋根は放射状に長さ約 28m の 2 重折板が葺かれており、スパンの 4 箇所まで雪止め用アンクル材が固定されていて、屋根の破損は 2 重折板のうち上側の折板のみが円周の外側から第 2 番目の雪止め位置まで浮き上がって生じていた。下側の折板には被害はなく、上下折板間に挿入されていたグラスウールが屋根上に散乱していた。

上側折板の破損跡には、固定金具のボルトの破断が多く確認された。折板固定金具は折板の山での勘合部を下部から固定するもので、折板を貫通して固定するものではない。固定ピッチは、流れ方向に約 3.5m で、円周方向に隣り合う金具間の距離は約 0.5m である。破損折板の多くは固定金具①、②のボルトが破断し、固定金具③近くの外側に設置され r 多雪止め部で折れ曲がっている。軒先部では下側折板は壁面の位置まで覆っているが、上側折板はこれよりさらに約 0.5m 外側に延びている。その外側には約 0.4m の隙間を空けて、鼻隠しが付けられている。したがって、壁面に当たる風は上方に向かって壁面に沿って流れ、上側折板を下から上に押し上げるように作用する。その際、壁面の外側下方には壁面につながる別の建物の屋根があり、さらに風を上方に向ける働きをされると考えられる。

一方、建物全体としては、風は軒あるいは鼻隠しで剥離し、剥離直後の領域に強い負圧を生じる。つまり、破損した折板は、下から壁に沿って上昇する風を受けると同時に、上部で強い渦による負圧を受けることになる。これに抵抗するのは最も外側に位置する固定金具①で、折板の端部からの固定金具までの距離は約 1100mm である。

4. 被害原因の推定

被害の原因には主に次の2種類が考えられる。

- 1) 風荷重が設計値を超えた。
- 2) 固定強度が低下していた。

4.1 風荷重の推定

設計図書によると、屋根構造体の風荷重は旧建築基準法に基づいて、 $W/A=q \times C$ の式により設計されている。ここで、

W/A ; 風荷重 kgf/m^2

q ; 速度圧で、 $q = 60\sqrt{h}$ ($h \leq 16\text{m}$)

h は軒の高さ、約 10m、

C は風力係数で $C = -0.5$

A は屋根の考慮する面積(m^2)である。

当式により、設計用風荷重は 200kgf/m^2 となっている。

屋根葺き材は、構造骨組用風荷重とは別に設計されることになっているが、設計図書は残っていない。屋根葺き材は外装材として、局部的に荷重が大きくなる効果を考慮して建設省告示 109 号で風力係数 $C = -1.5$ (屋根面の長さの 10%以内の部分、3m を超えるときは 3m とする) を用いて設計される。ここで、軒先から第 1 番目のボルトに注目すると、その風荷重負担長さは $1.1 + 3.325/2 = 2.76\text{m}$ としてよく、屋根長さ 28m の約 10% であることから、風力係数を $C = -1.5$ とできる。この場合、外装材用の風荷重は、約 600kgf/m^2 と設定できる。

この設計荷重に対して、台風時に実際に作用したと考えられる荷重を算定して比較する。Spring-8 に最も近い消防署における事故当時の風速観測値 (観測高さ 17m) は 8 月 30 日には最大瞬間風速 39m/s、9 月 7 日には最大瞬間風速 36m/s である。39m/s の値を用いて、Spring-8 の軒高さの瞬間風速を $39 \times (10/17)^{0.25} = 34\text{m/s}$ と仮定する。また、軒先の下から当たる風の風力係数 (告示 109 号では想定されていない) を $C = 0.8$ として加えると、風荷重は、

$$W/A = \frac{34^2}{16} \left\{ \frac{2.26 \times 1.5 + 0.5 \times (1.5 + 0.8)}{2.76} \right\}$$
$$= 118\text{kgf/m}^2$$

となる。すなわち、被害発生時に観測された風速値から想定される荷重は外装材用風荷重よりも充分小さい (構造骨組用風荷重よりも小さい) と考えられる。ただし、特殊な形状の風力係数は告示で示されている値と異なるかもしれない。その要因としては、地形の影響 (南側のゴルフ場から駆け上がる風が増速される) と建物形状の特殊性 (リング状の平面形状やリング内部の山の影響) 及び軒先付近のディテールの特殊性 (半円断面の鼻隠し等) が考えられる。

4.2 ボルト強度の低下

用いられているボルトの強度は、SS400 材として F 値 2.4 tf/cm^2 、 $3/8$ インチ径ボルトの断面積 0.7cm^2 とすると、破断強度 $2.4/0.7=3.4 \text{ tf}$ 程度であると推定される。上述の被害発生時の風荷重から求められるボルトの引張り力は $118 \times 0.5 \times 2.76=163\text{kgf}$ であるから、十分な強度とマージンを有していることになる。

被害の状況から、ボルトの強度が何らかの原因で低下していた可能性は否定できない。破断したボルトの破断面の例を写真 2, 3 に示す。破断したボルトを無作為にサンプリングしたので、どの位置のボルトかは特定できないが、写真 2 に示すように正常と考えられるボルトの破断面と、写真 3 に示すように錆が発生し何らかの異常があったと考えられるボルトの 2 種類が確認された。錆が見られるボルトの破断面は金属の光沢がなく、表面の凹凸の状態が明らかに写真 2 のボルトと異なる。



写真 2 ボルトの破断面（正常と考えられるボルト）

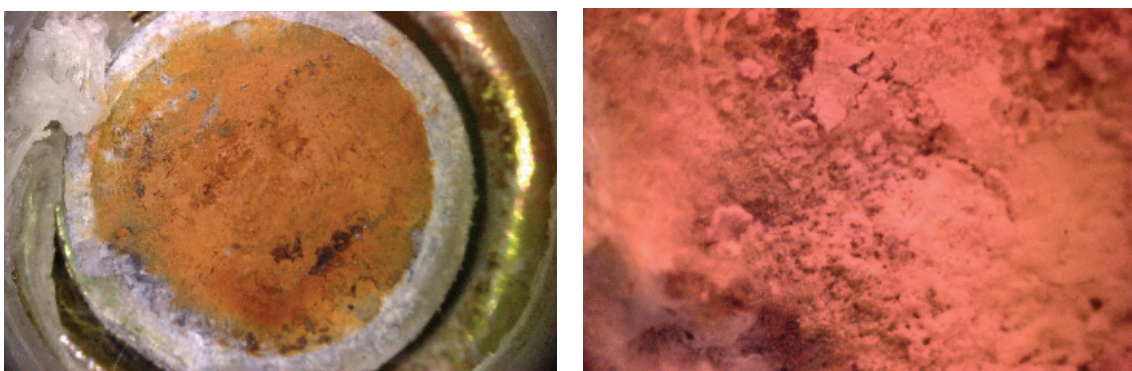


写真 3 ボルトの破断面（何らかの損傷があったと考えられるボルト）

異常があったと思われるボルトは現場でかなりの数が確認されている。被害を受ける以前に損傷があったとすれば、設計風速に至らない風荷重で屋根が浮き上がる事態は発生し得るであろう。

5. 原因の追究について

比較的短い期間内に二度の被害を受けた SPring-8 の屋根を補修するに当たり、被害の原因を追究する必要があると思われる。風荷重の面からは、地形の影響と建物形状の特殊性から生じる風力係数の設定の妥当性を検討する必要がある。

ボルト強度の低下は被害の直接の原因である可能性が高いと考えられる。破断面の拡大写真から想像されるのは金属疲労であるが、その原因には変動風力と温度変化による屋根の伸縮による 2 つが、あるいはそれらの両方が考えられる。変動風力による場合は変動力の周波数が比較的高いので高サイクル疲労が、温度履歴による場合は日間変動であることから低サイクル疲労がそれぞれ想定される。変動風力が原因の場合には当地方に卓越しない風向の屋根（例えば北側）を調査することで可能であろう。温度履歴が原因である場合には、破断面相当位置での集中応力を推定する検討を行わなければならない。

当該屋根は断熱材をサンドイッチ構造の二重折板葺きである。断熱性能が期待されるためには上側折板と下側折板とで温度差が生じる必要があり、その結果として上下の折板間で温度差による伸縮量が異なる。鋼材の熱膨張率を $\delta = 10 \times 10^{-6} \text{m}/^\circ\text{C}$ とし、支持スパン間距離を $L=3.3\text{m}$ 、温度変化を $\Delta T=50^\circ\text{C}$ （昼間 75°C 、夜間 25°C ）と仮定すると、伸縮量は $\Delta L = \delta \times L \times \Delta T = 10 \times 10^{-6} \times 3.3 \times 50 = 0.00165\text{m} = 1.65\text{mm}$ の計算になる（屋根の全長では 1.4cm ）。この計算される変位量は固定金具と折板間でスライドすることによって吸収する仮定の設計になっている。万一その仮定が成立しないと、応力集中がボルト破断面で発生する。

6. まとめ

平成 16 年台風 16 号と台風 18 号の強風で破損した大型放射光研究施設 SPring-8 の屋根の被害状況を調査し、概況を報告した。被害の原因は空気力学的な側面と固定ボルトの強度低下の側面の両方が考えられる。ボルトの強度低下については金属疲労の可能性が否定できない。補修と対策について検討するために、被害原因の追究が必要であると思われる。本報告書で述べた原因の可能性については何ら検証されたものではなく、それら以外に原因があるかもしれないので、慎重な検討が必要である。