

大空間構造物における地震防災対応力向上に向けた モニタリングシステムの活用

－屋内自転車競技場：伊豆ベロドロームにおける実施例－

岡田 敬一 森井 雄史 谷口 尚範
(技術研究所) (技術研究所) (設計本部)

Damage monitoring system for improved availability of large structures for disaster mitigation after earthquakes

－Testing at Izu Velodrome indoor cycling stadium－

Keiichi Okada, Takeshi Morii, and Hisanori Taniguchi

昨今、想定を超えた自然災害が多く発生し、防災対応力の向上が求められている。スタジアム等の大空間構造物が多く建設されており、不特定多数の人が立ち入る構造物では、大地震の発生後に構造物の安全性を確認することが重要である。そのような場所において活用する地震防災技術のひとつとして、地震直後の構造物の被災状況を判定する大空間構造物のモニタリングシステムの構築を試みた。対象構造物は屋内自転車競技場である伊豆ベロドロームで、2015年にモニタリングシステムを導入し検証を行っている。本報では、システムの構築方針と概要、設置時に実施した微動計測および地震観測記録の結果、システムを適用する上での留意点を述べる。

In recent years, a number of natural disasters have exceeded expectations, leading to a need for improved disaster mitigation capabilities. After a large earthquake, for example, many large structures such as stadiums may need to be available for an unspecified number of people, and it is important to confirm their safety. As one element of an earthquake disaster mitigation strategy that takes advantage of such spaces, we have tested a monitoring system for such large structures that determines damage status immediately after an earthquake. The target structure is the Izu Velodrome, an indoor cycling stadium. The monitoring system was installed for testing in 2015. This report outlines the system and describes the construction policy used and then presents the results of microtremor measurements and seismic observation records obtained after installation. To conclude, points to keep in mind when applying such a system are noted.

1. はじめに

安全で安心な生活を維持するためには、災害への備えは欠かせない。昨今、想定を超えた自然災害が多く発生し、社会では、その防災対応力の向上が求められつつある。特に不特定多数の人が立ち入る構造物では、大地震が発生した際、構造物の安全性を確認することが重要であると考えている。例えば、そこに留まるべきか、避難すべきかの判断が必要であり、その判断を出すためには、いったいどのように確認できるのかなど、施設管理者は、緊急の事態に備えた防災対応が出来なければならない。

地震直後の構造物の被災状況判定については、オフィスビルなどの一般的な建物を対象とするモ

ニタリングシステム¹⁾³⁾が既に開発されてきており、複数の建物に適用されている。人手によらず被害状態を判断するための技術である。地震の発生で得られたセンサーデータによって自動的に建物の安全性を評価し判断することができる。このような技術が必要となった背景には、従来、人手による判断(被災度区分判定)が行われており、専門家の構造技術者に頼っている。しかし大都市で大地震に見舞われ多くの建物が被災すると、被災度判定をする専門家の不足は免れない状況となり、人々は危険にさらされた状況が長く続くことがあげられる。このような状況を勘案し内閣府から、「大規模地震発生直後における施設管理者等による建物の緊急点検に関わる指針」⁴⁾が出された。大地震が発生した場合には、施設管理者等は緊急

に建物の安全を確認し、建物内での待機・退避の判断する必要があり、専門知識を有さない者が、緊急・応急的に建物の安全確認を行う際の具体的な方法などがまとめられている。さらに、超高層ビルなどでのモニタリングシステムの活用についても言及されている。

近年、スタジアム等の大空間構造物が多く建設され、多くの人々が観戦する場所となる。そのような場所において活用する地震防災技術のひとつとして、地震直後の構造物の被災状況を判定する大空間構造物のモニタリングシステムの構築を試みた。対象構造物は屋内自転車競技場である伊豆ペロドロームで、2015年に導入し検証を行っている。本報では、システムの構築方針と概要、設置時に実施した微動計測および地震観測記録結果、システムを適用する上での留意点を述べる。

2. モニタリングの基本方針

大空間構造物の地震モニタリングの目的は、大空間内で発生した非常事態を、迅速に把握し避難可否の判断につなげるための情報を施設管理者に提供し支援することである。基本方針としては以下のようになる。

- (1) 避難安全確認
- (2) 2次災害の防止
- (3) 被害状況の推定と見える化
- (4) 被害状況の情報配信
- (5) 早期事業再開

以上の方針を実施するための最適なシステムとして構築を考える。特にモニタリングでは、(2)に示す被害状況の推定と見える化が、現地でのセンサで得た生の情報を評価し判断するもので、重要なキー技術である。

3. システムの構築方針

大空間構造物では、まず1番目に判断すべき点として、構造体が健全であるかどうかである。2番目に非構造体が健全であるかを判断する。その健全性を判断する指標をどのようなセンサでセンシングするかであるが、一般には、地震の揺れを検知する加速度センサ、部材の動きを計測する変位センサや局所的なゆがみを計測する歪センサなどがある。この中で大空間構造物での揺れを検知する加速度センサが最も扱いやすく、設置が簡便で、判断指標となる加速度、速度、変位値などの記録から判定するシス

テムの構築が可能である。近年、カメラ映像情報を簡便に記録することも可能であることから、先に示した加速度センサと連動して、空間の映像を記録し地震前後での映像変化から物体の移動、脱落なども判断可能であると考えた。

大空間の施設での活用において、具体的にシステム導入の目的から得られるアウトプットを以下にまとめる。

- (1) 地震後数分以内に施設の被災状況を推定
施設管理者がシステムにより構造体の被災状況を把握する(自動表示)。
 - ・安全な場合 → 安全安心を速やかに知らせる。
 - ・建物被害可能性ありの場合 → 周囲の状況を確認の上、避難の必要性・緊急性を知らせる。

- (2) 災害時の安全行動に活用
災害時において、目では確認できない被災状況の把握から、非常時の行動に役立てる。

上記のように地震の揺れをシステムで検知・評価し、被害状況の見える化をすることが地震モニタリングシステムの導入目的の基本であり、地震直後にシステムを活用することで防災力向上を目指している。

4. 対象構造物

伊豆ペロドロームの建物概要を図-1に示す。本施設は2011年に竣工した建物で、日本で初めて世界標準仕様の屋内型板張り250mトラックを備えた大空間の屋内自転車競技場である⁵⁾。建物の平面形



- ・名称：伊豆ペロドローム
- ・用途：屋内自転車競技場
- ・所在地：静岡県伊豆市大野 1826
- ・所有者：一般財団法人日本サイクルスポーツセンター
- ・設計：清水建設株式会社 設計部
- ・施工：清水建設株式会社 名古屋支店
- ・工期：2010. 3 ~ 2011. 9
- ・構造・規模：下部構造 RC 造，屋根構造 S 造 B1-3F-0F
建築面積 9,166m²，延床面積 13,175m²

図-1 建物概要

状は、長軸に 119m、短軸に 93m の楕円であり、地上 2 階、一部地下 1 階の高さ 15.4m の RC フレームにライズ(アーチ屋根部高さ)13.8m ドーム屋根を載せた建物である。本競技施設は、2020 年東京オリンピック・パラリンピックの自転車競技・トラック種目の会場に決定している。モニタリングシステムは、オリンピック会場が決定する前の 2015 年 1 月に設置し観測検証を開始した。

5. 導入したモニタリングシステム

設置したモニタリングシステムの主要な機器の構成を図-2 に示す。ネットワーク型の加速度センサ 9 台と観測 PC をベースにしたモニタリングシステムの機器構成に加えて、地震時の映像を記録するために WEB カメラ 2 台、カメラレコーダー 1 台、映像 PC が追加されている。収録機器を収めたサーバラックは、応接室内に設置されている。また、外部からの遠隔監視管理・データ転送のためにモバイル型ルータを設置し、ネットワーク接続可能なシステムとして構成している。

図-3 は、構造物に設置されたセンサ位置を示す。施設の下部構造体(床面)に 4 か所(#1~#3, #9)、上部構造体(トラス屋根の上弦材)に 5 か所(#4~#8)、計 9 か所に加速度センサ ⑥(3 成分計, 最大 2.6G, サンプルング 200Hz)を取り付けている。加速度センサの設置状況を図-4 に示す。図-5 に示す WEB カメラ(パン・チルト内蔵、HD 記録)は、施設 3 階レベルの 2 か所(#C1, #C2)に屋根面を見上げた映像が記録されるように設置している。

地震の揺れを検知するとセンサデータは、観測 PC に集められ処理される。加速度トリガのレベルは、下部構造体において 5 ガル程度(震度 3 相当)を検知すると記録されるように運用している。システムで稼働しているアプリケーション画面の例を図-6 に示す。画面は、すべて WEB ブラウザで確認できるように構成した。そのようにすることで、ネットワークに接続されたあらゆる PC から状態をリアルタイムに確認できるようになっている。また、画面の工夫として中上段位置に、現在のモニタリング状況表示を設けており、地震監視中・記録中など稼働状態を同時に表示している。以下に、アプリケーション画面を説明する。

(1) トップページ画面(初期画面：図-6(a))

初期画面で過去に記録した情報を一覧表示し、リンクが張られ過去の記録情報を確認できる。

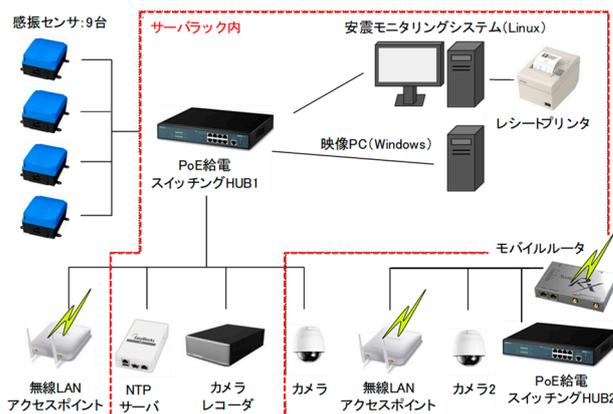


図-2 モニタリングシステムの機器構成

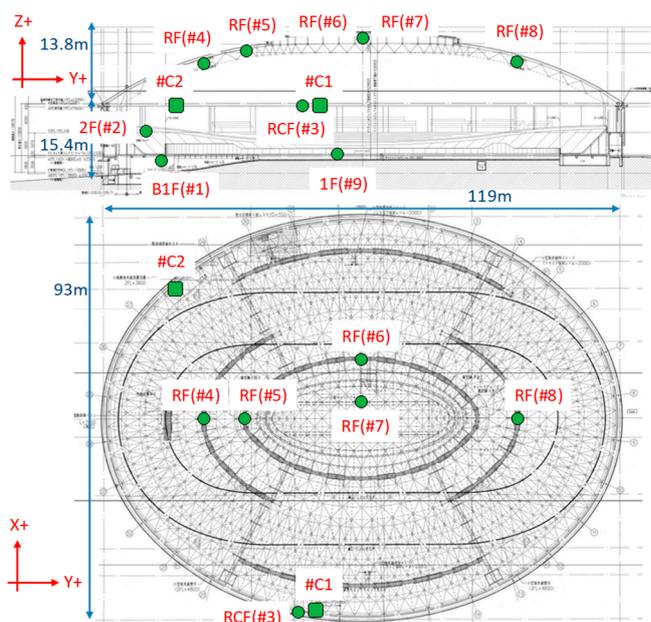


図-3 センサの設置位置(○：加速度、□：カメラ)



(a) 床面にアンカーボルト固定 (b) U字ボルトで吊下げ固定

図-4 加速度センサの設置状況



図-5 WEBカメラの設置状況と取得映像

(2)判定表示画面(図-6(b))

地震があった場合、画面中のモニタリング状況表示が「地震記録中」に変わり、記録が終了すると判定画面に自動遷移し結果を表示する。画面はクリックابلマップとなっており、測点での記録情報を表示できる。

(3)計測表示画面

(2)の判定表示画面を補足するもので、各センサ位置で記録された、最大加速度・速度・変位、震度・計測震度、建物層間変形角などの詳細情報を表示する。ここで表示される情報は、テキスト情報として施設管理者などに e-mail 配信が行える。

(4)波形表示(図-6(c))

加速度センサで記録された波形の確認とダウンロード(csv ファイル)が行える。

(5)映像表示画面

加速度センサで記録された波形と同時刻のWEBカメラ映像記録を確認できる。記録映像は、差分画像データとして処理され判定表示画面に表示されている。

(6)波形モニタ画面

加速度センサの波形出力をリアルタイムモニタとして表示し確認する。

WEBカメラでは、直近1週間の映像をレコーダにフルHD動画(30fps)で記録している。地震が発生し揺れが収まった直後に、加速度センサで記録された時間帯と同じ時間帯の映像を切り出す処理を行い、サーバに映像を転送して記録を保存する。図-7に画像の判定処理を示す。映像は、動画記録の最初と最後のフレームを静止画として切り出して画像差分を取り、画像変化の指標係数を求めている。図-6(b)で示す判定表示画面の中に画像差分処理結果を表示している。

6. モニタリングにおける健全性判定

大空間構造向けモニタリングシステムでの健全性判定のためのクライテリアを設定するにあたり、伊豆ペドロームでの設計時解析の情報を基に、以下の基本方針により定めている。

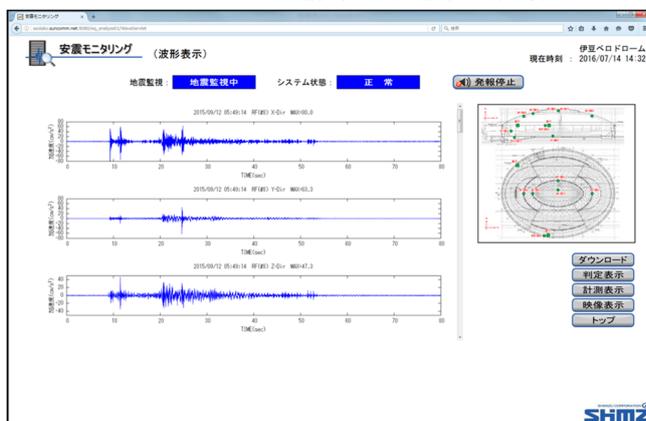
- (1)構造体の解析モデルの自由度が多く、モデルの妥当性の確認が難しいことから、観測記録による応答推定は行わない。
- (2)健全性判定の対象は、構造躯体と構造躯体以外とし、判定クライテリアについては、損傷限界、設計限界、および安全限界を考慮して、設計図書



(a) 初期表示の例(過去履歴)



(b) 判定表示の例(加速度、計測震度、映像差分表示)



(c) 記録波形表示の例(データダウンロード機能あり)

図-6 PCアプリケーションでの主要な表示画面

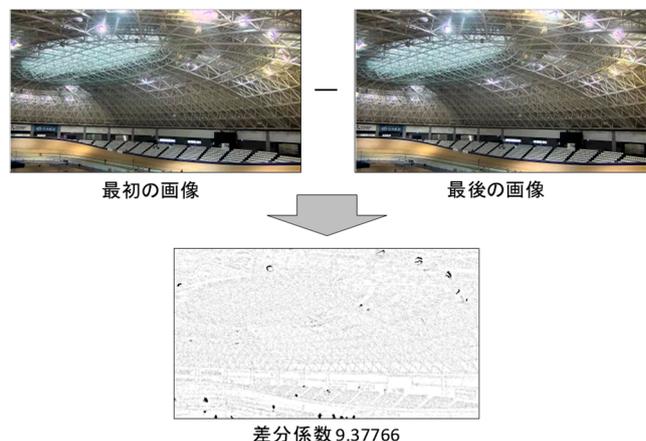


図-7 画像の判定処理(静止画の地震前後の差分)

表-1 システム指針における表記方法と
対応させた判定クライテリア

	構造躯体		構造躯体以外
	屋根トラス部 (最大応答加速度)	下部構造 (最大応答層間変形角)	
損傷限界	-	1/200	-
設計限界	1G	-	-
安全限界	2G	1/100	-

表-2 モニタリングシステムの健全性判定
クライテリア

評価部位	参照量	判定基準	色表示	備考
下部構造	最大応答層間変形角	1/200未満	緑	変形 小
		1/200以上 1/100未満	黄	変形 中
		1/100以上	赤	変形 大
屋根トラス部	最大応答加速度	1G未満	緑	加速度 小
		1G以上 2G未満	黄	加速度 中
		2G以上	赤	加速度 大

で示された時刻歴応答解析の結果に基づいて
設定する。

上記方針によりクライテリアを設定した。図-8
に設計時の時刻歴応答解析による屋根トラス部の最大
加速度応答の分布図を示す。この応答分布図から、
屋根部における加速度センサの配置位置を決定して
いる。ただし、屋根部では、吊り下げられたキャッ
トワーク面でしかセンサが設置できないという点
も考慮して、5箇所(#4 から#8 : 図-3)を決定した。
ほぼその位置で、応答解析(レベル 2 入力地震動)
の結果において約 2G の最大加速度が発生している。
屋根部における判定指針でのクライテリアは、許容
応力度設計で安全性が確認されている 1G を設計限
界(黄判定)、その 2 倍の 2G を安全限界(赤判定)とし
た。また、下部構造の躯体においては、各階に設置
したセンサから求められる層間変形角を基に、
1/100 を設計限界(赤判定)として定め、この 1/2 の
1/200 を損傷限界(黄判定)として設定している。以上よ
り、表-1 にシステム指針に対応させた判定クライ
テリアを示す。これから伊豆ペロドロームにおける
モニタリングシステムの健全性判定クライテリアを
表-2 に示すように設定している。

7. 事前の常時微動計測による大屋根振動モードの 確認

常時微動計測は、伊豆ペロドロームへのシステム
設置工事に合わせて実施した。モニタリング開始前
に構造体の下部・屋根部における固有振動特性を確
認する目的で行った。計測には、GPS 内蔵同期可能
なポータブル微動計測器 JU210(図-9(a) 白山工業

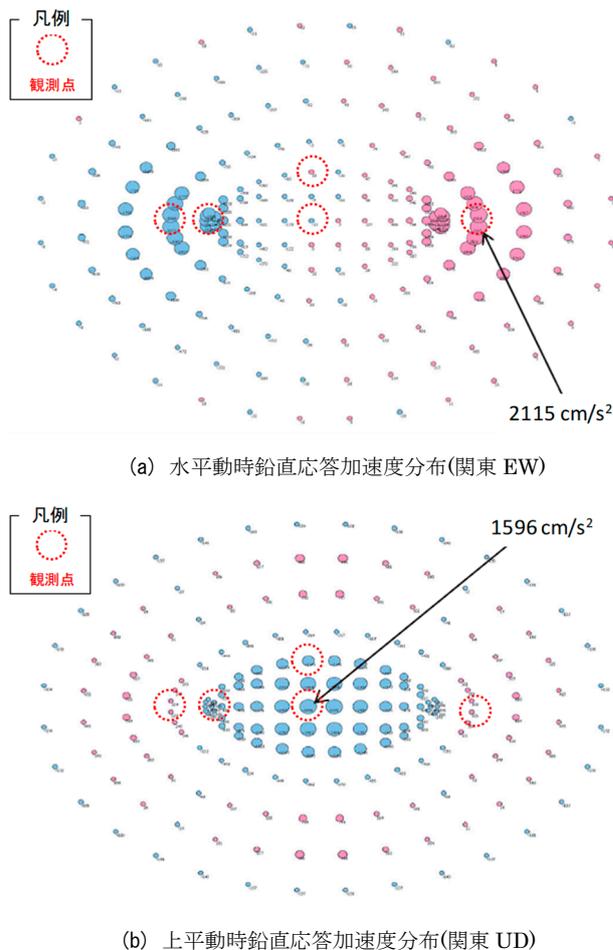


図-8 設計時の水平・上下動での時刻歴応答
解析結果(屋根トラス部)

(a) キャットワーク上に
配置した微動計測器
(JU210)

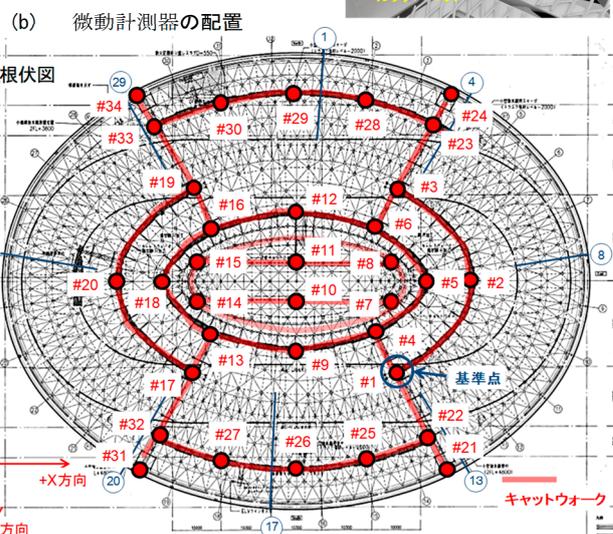
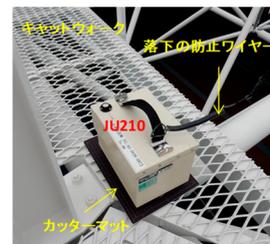


図-9 微動計測における計測位置(屋根トラス部)

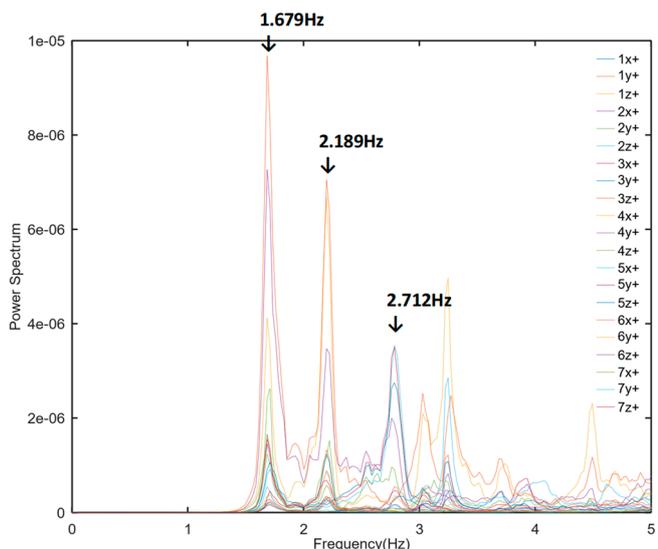


図-10 微動計測でのパワースペクトル(屋根トラス部)

製)を7台利用し分散配置して移動することでの多点同時計測を行った。屋根トラス部(キャットウォーク利用)での計測位置(32か所)を図-9(b)に示す。計測は、基準点(#1)を設け7ケースに分けて微動計を移動させて計測し、200Hz サンプリングで約20分間の収録をした。

計測された記録をスペクトル解析し、構造体の固有振動数を求め振動モードを求めた。図-10に微動計測で得られた屋根トラス部でのパワースペクトル例を示す。固有振動数は、明瞭なピークとして、1次が1.68Hz、2次が2.19Hz、3次が2.71Hzである。

図-11に各次における固有振動モード図を示す。1次のモード形は、屋根短軸方向で左右が反転し全体が揺れるモード、2次のモード形は、屋根長軸方向で前後が反転し全体が揺れるモード、3次のモード形は、屋根中央部が大きく上下するモードであった。

屋根トラス部と下部構造をモデル化して、フレーム解析により得た固有値解析の振動モード結果を図-12に示す。微動計測で得られた振動モード形がシミュレーション解析と整合しているのかを確認するために実施している。微動計測で得られた固有振動数と振動モード図は、1次と2次モードで良い対応を示した。

8. 地震観測記録

モニタリングシステムが設置された2015年1月から地震観測を開始した。これまでの5年間に15地震を記録(2017年2月28日から2020年9月27日まで)している。表-3に観測期間中に記録された地震の一覧を示す。観測された地震の中で、当該地

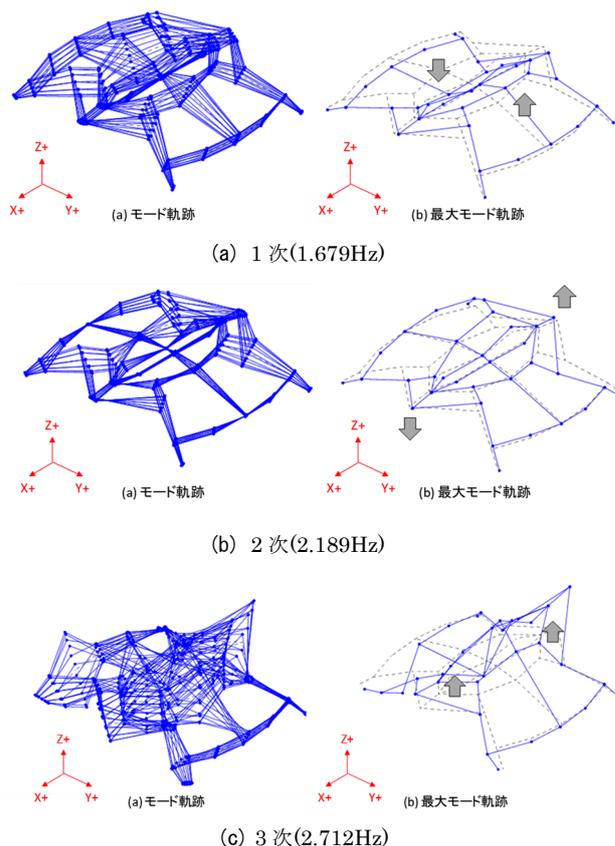


図-11 屋根トラス部の固有振動モード図(微動計測)

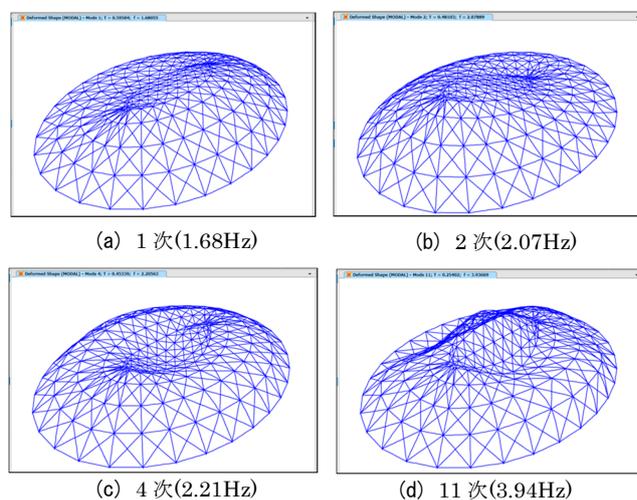


図-12 屋根トラス部の固有振動モード図(固有値解析)

域(伊豆市)における最大震度は3であり、これまでに被害が出るような観測記録は得られていない。

記録の中での最大応答の地震は、地震 No.3 の2015年5月30日の小笠原諸島西方沖の地震(M8.5)であり、屋根トラス部#6の位置で、水平X方向に

加速度 106 ガルを記録している。この時に施設管理者向けに配信された e-mail の内容を図-13 に、屋根トラス部#6 の位置で記録された 3 成分の加速度波形を図-14 に示す。波形を確認すると、水平方向の記録に、パルス的な応答が記録されている。原因を確認するため現地でセンサを確認したところ、落下防止のワイヤーが動きやすい状態にあり、地震で揺れた衝撃が伝わったものと考えられた。そのため落下防止ワイヤーなどの再固定(結束バンド)を行った。

図-15 は、地震 No.15 の 2020 年 9 月 27 日の静岡県西部の地震(M5.3)で記録したトラス屋根部応答をパワースペクトルで示す。応答は、上下(Z)が大きく揺れており、そのピーク周波数は 2 つのモードが支配的である。1 次が 1.65Hz、2 次が 2.38Hz であり、2015 年 1 月に実施した常時微動計測の 1 次の固有振動数とは差異は見られないが、2 次、3 次の高次モードとされた固有振動数が異なっている。これまでの観測期間中、大きな地震に見舞われておらず構造体特性の変化は考えられないが、2020 年 3 月にオリンピック開催のための観客席増設やトラス屋根下端に音響・照明設備などの大規模な改修が行われており、高次のモードに何らかの影響があったと思われる。

9. 大空間構造物へのモニタリングシステムを適用する際の留意点

一般の構造物(ビルなどの建物)でのモニタリングでは、少数センサのデータから全層の応答推定(質点系レベル)を行い、健全性を判定している。一方、大空間構造物のモニタリングでは、屋根全体の応答を推定する現実的な手法は無いため、屋根構造の安全性判定のクリティカルとなる部位を抽出し、その判定手法に応じた計測を行うようなヘルスマニタリングを考える必要がある。また、大空間構造物の下部構造においては、施設内の平面的な位置により地震時挙動が異なる場合がある事に留意する必要がある。平面的にいくつかのブロックに分けてモニタリングを行い、ブロック毎の判定結果を包絡して総合判定する手法が考えられる。

10. まとめ

モニタリングシステムの構成にあたり、基本方針に従いシステムを構築した。伊豆ペドロームへ導入したモニタリングシステムの構成や健全性判定方

表-3 観測された地震記録の一覧

No.	地震日時	震源名	規模 M	最大震度	伊豆震度
1	2015/03/15 23:44	静岡県伊豆地方	3.5	2	1
2	2015/06/25 14:28	埼玉県北部	5.5	5弱	2
3	2015/06/30 20:23	小笠原諸島西方沖	8.5	5強	3
4	2015/09/08 20:23	駿河湾	4.9	3	2
5	2015/09/12 05:49	東京湾	5.2	5弱	3
6	2015/10/25 17:15	山梨県東部・富士五湖	4.4	3	1
7	2016/01/23 01:33	相模湾	3.9	3	0
8	2016/01/23 05:34	伊豆半島東方沖	3.2	3	0
9	2016/11/22 05:59	福島県沖	7.4	5弱	2
10	2017/08/10 09:36	千葉県北西部	4.9	3	2
11	2018/07/07 20:23	千葉県東方沖	6.0	5弱	3
12	2019/06/11 00:25	静岡県中部	4.0	2	2
13	2019/06/24 09:11	千葉県南東沖	5.5	4	3
14	2019/11/17 20:05	伊豆大島近海	4.9	4	3
15	2020/09/27 13:13	静岡県西部	5.3	4	2

<p>伊豆ペドローム 発生時刻：2015/05/30 20:26 地震秒数：103.0 秒 最大震度：4 (4.1)</p> <p>総合判定：安全です。</p> <p>[計測位置]</p> <p>RF(#8) 判定：(○) 加速度 Y/X/Z：76/78/47 (cm/s/s) 層間変形角：- (rad) 震度(計測震度)：3 (3.3) 加速度Vect：86 (cm/s/s) *** 速度Vect：2.6 (cm/s) 変位Vect：0.60 (cm)</p> <p>RF(#7) 判定：(○) 加速度 Y/X/Z：26/37/36 (cm/s/s) 層間変形角：- (rad) 震度(計測震度)：4 (3.5) 加速度Vect：44 (cm/s/s) *** 速度Vect：2.9 (cm/s) 変位Vect：0.58 (cm)</p> <p>RF(#6) 判定：(○) 加速度 Y/X/Z：67/103/88 (cm/s/s) 層間変形角：- (rad) 震度(計測震度)：4 (4.1) 加速度Vect：106 (cm/s/s) *** 速度Vect：5.8 (cm/s) 変位Vect：1.58 (cm)</p> <p>RF(#5) 判定：(○) 加速度 Y/X/Z：28/57/36 (cm/s/s) 層間変形角：- (rad) 震度(計測震度)：3 (3.3) 加速度Vect：60 (cm/s/s) *** 速度Vect：2.7 (cm/s) 変位Vect：0.61 (cm)</p>	<p>RF(#4) 判定：(○) 加速度 Y/X/Z：24/40/37 (cm/s/s) 層間変形角：- (rad) 震度(計測震度)：3 (3.3) 加速度Vect：40 (cm/s/s) *** 速度Vect：2.8 (cm/s) 変位Vect：0.59 (cm)</p> <p>RF(#3) 判定：(○) 加速度 Y/X/Z：16/13/3 (cm/s/s) 層間変形角：- (rad) 震度(計測震度)：3 (3.1) 加速度Vect：17 (cm/s/s) *** 速度Vect：1.9 (cm/s) 変位Vect：0.60 (cm)</p> <p>2F(#2) 判定：(○) 加速度 Y/X/Z：18/13/3 (cm/s/s) 層間変形角：0.000 (rad) *** 震度(計測震度)：3 (3.2) 加速度Vect：18 (cm/s/s) 速度Vect：2.5 (cm/s) 変位Vect：0.62 (cm)</p> <p>1F(#9) 判定：(○) 加速度 Y/X/Z：14/11/4 (cm/s/s) 層間変形角：0.000 (rad) *** 震度(計測震度)：3 (2.9) 加速度Vect：14 (cm/s/s) 速度Vect：1.7 (cm/s) 変位Vect：0.59 (cm)</p> <p>B1F(#1) 判定：(○) 加速度 Y/X/Z：16/11/3 (cm/s/s) 層間変形角：0.001 (rad) *** 震度(計測震度)：3 (3.2) 加速度Vect：19 (cm/s/s) 速度Vect：2.5 (cm/s) 変位Vect：0.63 (cm)</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

図-13 地震直後に配信されたメール文(地震 No.3)

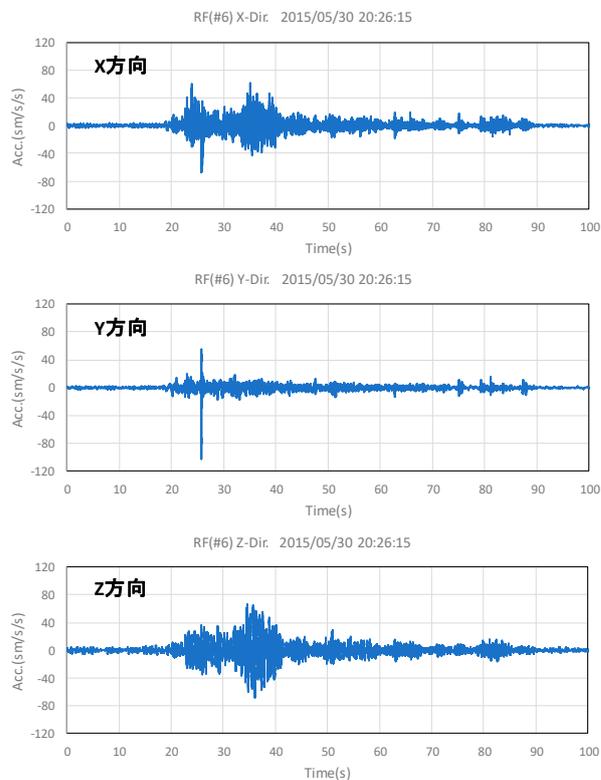


図-14 地震 No.3 で記録された加速度波形 (屋根トラス部 #6)

法、常時微動観測、地震観測についての検討結果について示した。これまでにシステムで観測された地震は計測震度が3以下であるため、健全性判定については全て「安全」と判定されている。今後も安全安心な社会を目指し、地震防災対応力向上に向けたモニタリングシステムの活用を推奨し展開していく。

謝辞

本報告では一般財団法人日本サイクルスポーツセンターが所有する施設「伊豆ペロドローム」のご協力を頂き、モニタリングシステムを導入し検証を行っている。関係者に感謝の意を表する。

<参考文献>

- 1) 岡田 敬一 他：“RC 造 6 層建物試験体の大型振動台実験における地震時建物健全性判定支援システムの適用”，日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), Vol.B-2, pp.1025-1026, 2016.8
- 2) 岡田 敬一：“安震モニタリングシステム”，建築設備と配管工事, 日本工業出版, pp.14-18, 2016.9
- 3) 岡田 敬一, 森井 雄史, 佐々木 仁志：“地震時における建物の健全性判定支援システム -安震モニタリング SP の技術開発について-”，(一財)日本総合試験所, 機関誌 GBRC 164 号 (Vol41 No.2), pp.11-22, 2016.4
- 4) 大規模地震発生直後における施設管理者等による建物の緊急点検に関わる指針(2015 年内閣府)
http://www.bousai.go.jp/jishin/kitakukonnan/kinkyuutenken_shishin/index.html (アクセス日 2020/11/11)
- 5) 佐藤起司 他：“伊豆ペロドローム-日本初の 250m 板張りトラックを有するドーム型自転車競技場”，鉄構技術, 鉄構出版, pp.46-53, 2013.11
- 6) 富士電機 感振センサ(CPUKSNSS-00)
https://www.fujielectric.co.jp/products/shm/micro_vibration_sensor.html (アクセス日 2020/11/11)

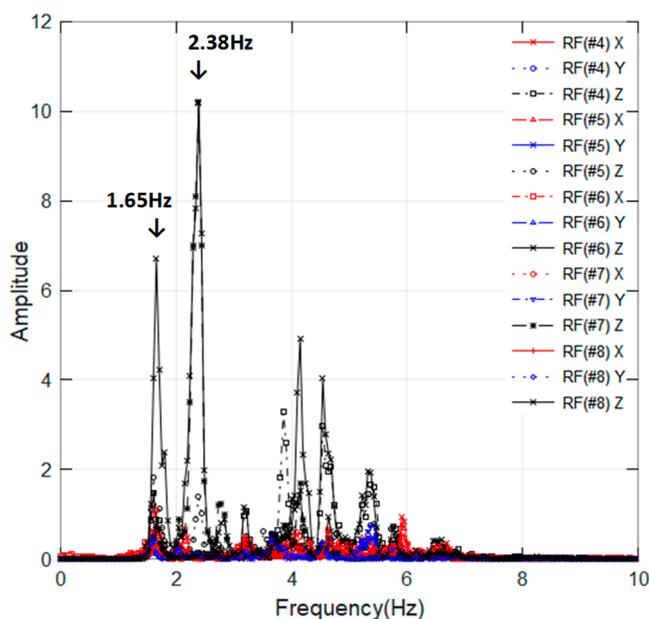


図-15 地震 No.15 で記録された応答のパワースペクトル(屋根トラス部)