

# 首都直下地震防災・減災特別プロジェクトにおける東京湾アクアライン (海ほたる・風の塔) での地震観測点の設営について

坂上 実\*・酒井慎一\*\*・中川茂樹\*\*\*

## Construction of Seismic Observation Stations in the Tokyo Wan Aqua-line (Umihotaru and Kaze no tou) for the Special Project for Earthquake Disaster Mitigation in Tokyo Metropolitan Area

Minoru SAKAUE\*†, Shin'ichi SAKAI\*\* and Shigeki NAKAGAWA\*\*\*

### Abstract

In the Special Project for Earthquake Disaster Mitigation in the Tokyo Metropolitan Area (2007-2011), we deployed the Metropolitan Seismic Observation Network (MeSO-net) with 296 seismic stations. Because of the sparse distribution of seismic stations within the Tokyo Bay the resolution of data analyses, such as tomographic images, was not sufficient for seismic hazard assessment. Therefore, we installed seismic stations along the Tokyo Wan Aqua-Line (Umihotaru and Kaze-no-tou) and at Fort No. 2 of Tokyo Bay to improve the resolution. In this report, we explain the construction process of the Tokyo Wan Aqua-Line stations.

*Key words : MeSO-net, Tokyo Wan Aqua-line (Umihotaru and Kaze no tou), Data transmission by means of FOMA network*

### はじめに

首都直下地震防災・減災特別プロジェクト(2007年度～2011年度, 下首都直下プロジェクト)(平田・他, 2009)では, 首都直下地震の全体像を解明し地震による被害の軽減を目的として, 首都圏 296 箇所にボアホール型の地震計を設置し, 首都圏地震観測網(MeSO-net)を構築した(笠原・他, 2009, 酒井・他, 2009). ほとんどの MeSO-net 地震観測点は, 20m のボアホール内に加速度計を設置し, 孔底でデジタル化した地震データを地上の地震観測装置へ送り, そこから電話回線(ISDN)を通じて, リアルタイムで地震研究所へデータを伝送している(中川他, 2009). 東京湾のような海域は地震観測点の設置が困難であるた

め, 陸域に比べて観測点の密度が低くなり, 地震波トモグラフィ解析の際に解像度を下げる一因となっている. そこで, 東京湾内で MeSO-net 地震観測点を設置可能な場所として東京湾横断道路(東京湾アクアライン)の海ほたる・風の塔と東京湾第二海堡の3箇所を選定し, 2008年度に構築した(図1).

本報告では, 著者が担当した東京湾アクアラインの海ほたると風の塔の2箇所の地震観測点設営について報告する(図2). なお, 第二海堡の観測点設営については, 坂上(2009a)や坂上・他(2009b)を参照されたい.

### 東京湾アクアライン施設と MeSO-net 地震観測点

東京湾アクアラインは, 1966年に旧建設省が建設に向け調査を開始し, 1997年に開通した自動車専用道路である. アクアラインは, 東京湾のほぼ中央を横断し神奈川県川崎市浮島と千葉県木更津市金田を結ぶ, 全長 15.1 km の自動車専用道路で, 川崎から約 10 km の海底トンネルと約 5 km の橋梁から構成されている(図3). トンネル中央部には換気施設の風の塔(川崎市)が, トンネルと橋梁の接合部には駐車場を兼ねた海ほたるの休憩施設が存在する

2012年11月29日受付, 2012年12月5日受理.

† sakaue@eri.u-tokyo.ac.jp

\* 東京大学地震研究所技術部総合観測室.

\*\* 観測開発基盤センター.

\*\*\* 地震研究所地震火山情報センター.

\* Technical Supporting Section for Observational Research, Earthquake Research Institute, the University of Tokyo.

\*\* Center for Geophysical Observation and Instrumentation.

\*\*\* The Earthquake and Volcano Information Center.

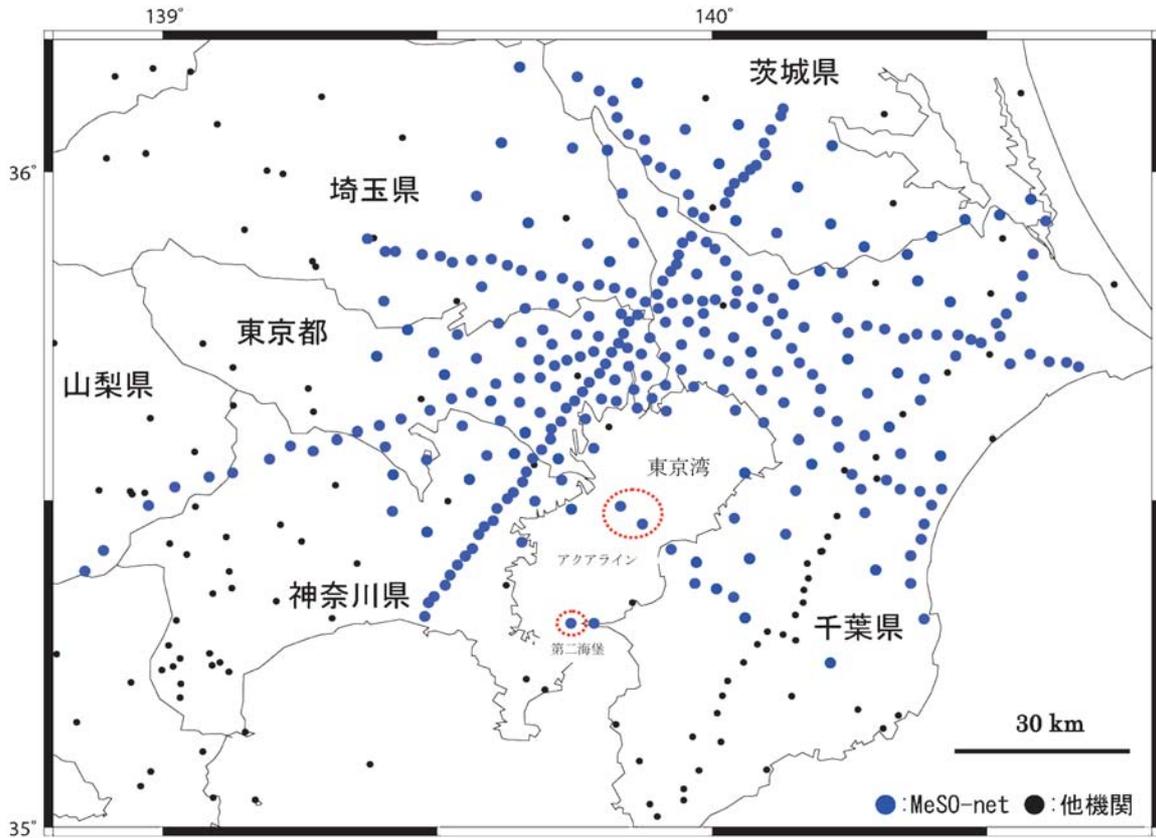


図 1. 首都直下プロジェクトの地震観測点配置の全体図



図 2. 東京湾内のアクアラインに位置する海ほたと風の塔

(木更津市)。海ほたるは、全長約 650 m、全幅約 100 m の長方形の人工島の上に建物が存在する (図 4)。この建物は 5 階建てで、1 階から 3 階までが駐車場、4 階と 5 階は商業施設である。5 階デッキ部は、全長約 100 m・全幅約 60 m の鉄骨鉄筋コンクリート (SRC) 造の施設である。図 5 に

海ほたる施設の観測点位置を示す。一方、風の塔は直径約 200 m、地下 (海面下) 約 75 m の人工島である。風の塔の上には、高さ 90 m と 75 m の大小 2 つの塔がそびえている。これらはトンネル内の換気に使われている (図 6)。図 7 に風の塔施設の観測点位置を示す。

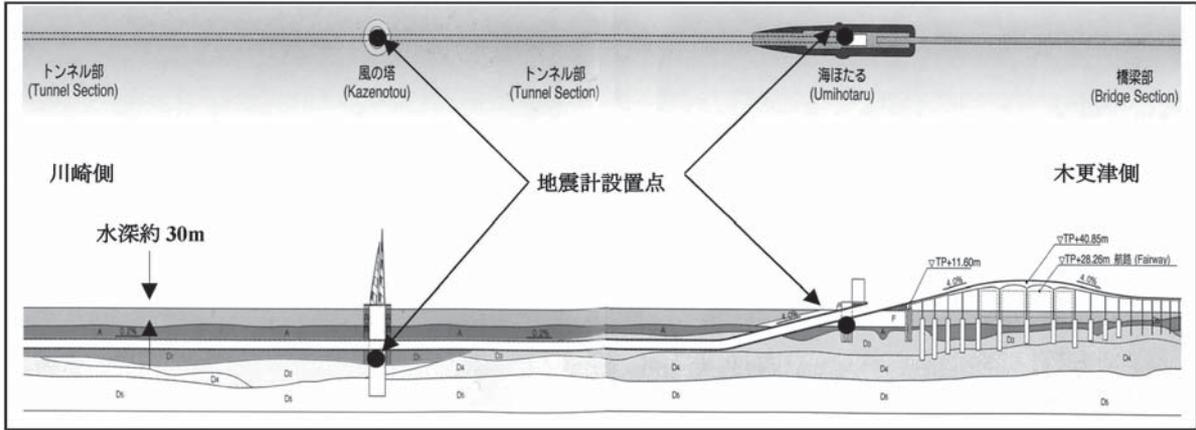


図 3. 海ほたと風の塔の地震観測点位置状況, アクアライン資料 (2008) に加筆



図 4. 海ほたる (木更津人工島) 施設の全景. 後方に川崎側の風の塔が見える. (アクアライン資料, 2008)

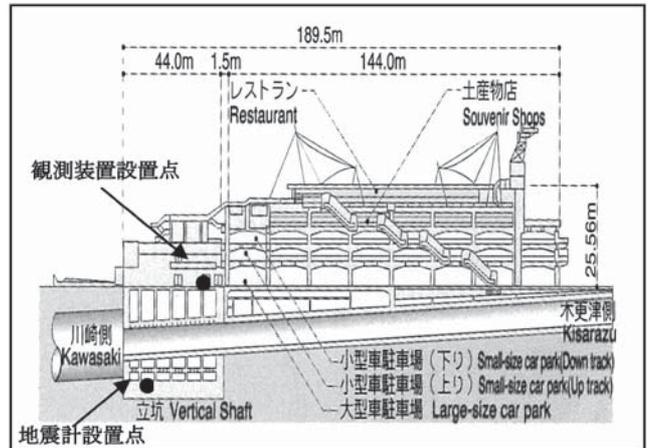


図 5. 海ほたる施設の断面と地震計・観測装置設置位置, アクアライン資料 (2000) に加筆



図 6. 風の塔 (川崎人工島) 施設の全景. (アクアライン資料, 2008)

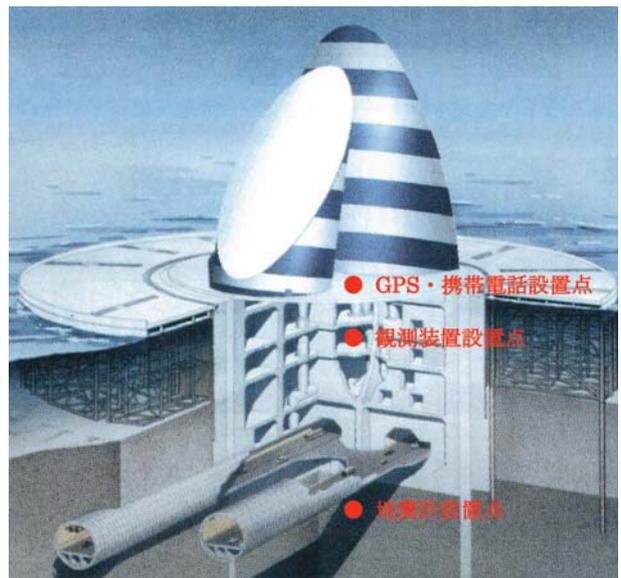


図 7. 風の塔施設の断面と地震計・収録装置・GPS・携帯電話設置位置. アクアライン資料 (2000) に加筆

観測点設置のお願いと施設利用申請

東京湾横断道路株式会社関東支社東京湾アクアライン管理事務所への地震観測点設置に向けた準備を本格的に開始

したのは、2008年2月中頃である。最初に手掛けたことは、交渉の相手側に提出する「地震観測点設置のお願い」状を作成することであった(図8)。お願い状に添付する道路占用許可申請書(図9)、施設利用計画書・施設借入れ理

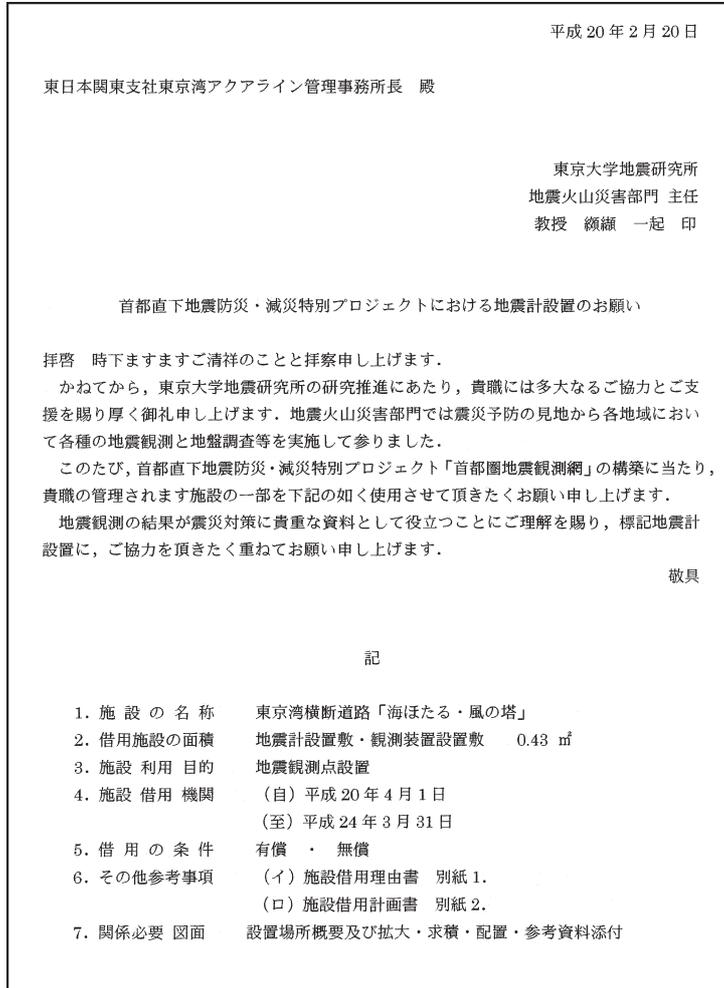


図 8. アクアライン管理事務所に提出した海ほたる・風の塔での地震観測点設置のお願い状

占 用 物 件 内 訳							
名 称	仕様・規格	単 位	数 量	名 称	仕様・規格	単 位	数 量
海ほたるPA観測点設置物件内訳				風の塔 観測点設置物件 内訳			
GPSアンテナ(GPA-014)	50(φ)×300(L) 固定金具20(φ)×200(L)	個	1	GPSアンテナ(GPA-014)	50(φ)×300(L) 固定金具50(φ)×800(L)	個	1
地震計(検出器)	114.3(φ)×586(L)固定金具400(W)×230(D)×150	個	1	地震計(検出器)	114.3(φ)×586(L)固定金具450(W)×450(D)×25	個	1
観測装置収納ケース	670(W)×650(D)×330(H)	個	1	パラボナアンテナ	アンテナ 700(φ) 固定金具75(φ)×1000(L)	個	1
電力計メーターケース	400(W)×300(D)×200(H)	個	1	観測装置収納ケース	670(W)×650(D)×330(H)	個	1
地震計ケーブル 14φ	TDN14U	m	100	電力計メーターケース	400(W)×300(D)×200(H)	個	1
AC電源CVケーブル 8φ	3.5×3C	m	10	地震計ケーブル 14φ	TDN14U	m	80
通信ケーブル 5φ	CPEV0.65×2P	m	200	AC電源用CVケーブル 8φ	3.5×3C	m	25
GPSアンテナケーブル 5φ	5C-2V	m	30	通信ケーブル 12φ	CPEV0.05×2P	m	90
				GPSアンテナケーブル 10φ	10C-2V	m	90

東京大学地震研究所

図 9. 独立行政法人日本高速道路保有・債務返済機構に提出した道路占用許可申請書の占用物件内訳(計画案)

由書・借入れ求積図・観測点設営概略図なども作成した。これらの書類を持参して、東京湾アクアライン管理事務所に挨拶と説明を行った。管理事務所では管理課及び工務課に首都直下プロジェクトの観測点設営の説明をした。説明後に管理事務所に隣接する東京湾横断道路株式会社アクアライン事業所を紹介して頂いた。その後アクアライン管理事務所へ申請書に添付する資料と提出方法など打合せを行った。打合せ後にアクアライン事業所に行き地震観測点設置に向けた具体的な説明を行い、アクアライン施設での地震観測の実状を尋ねた。事業所側からアクアライン施設の保守を目的として、アクアライン施設の施工中にトンネル及び橋脚などに地震計設置が行われ、観測中であるとの返答を頂いた。既設の地震計のスペック等を何うと MeSO-net で導入予定の地震計と観測方式とは、分解能やトリガー収録など大きく異なることが判明した。MeSO-net の特徴は、連続観測で自動テレメータ及び微小地震が観測可能な分解能である。今後観測点候補地の調査のときに幾つかの地震計設置点を案内して頂く事になった。また、“海ほたる・風の塔”への観測点構築を円滑に進める上で、東日本高速道路株式会社の関東支社への観測計画の事前説明が重要であるとのアドバイスを受けた。

早速、参考資料を持参し関東支社技術部技術企画課に何いアクアライン施設での観測計画の概略（案）説明を行った。担当課からはアクアライン施設に関係する地震観測であるため、国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術センター地震防災室にも事前に説明をするよう助言されたので、同様の資料を携えて説明を行った。説明後には観測計画の成功を期待していると激励を受けた。

その後、東京湾アクアライン管理事務所の事務担当者から指摘を受けた内容に基づいて、計画書の各種申請書を整えた。提出予定の申請書と添付資料の事前説明に行く日々が続いたが、7月に東京湾アクアライン管理事務所からアクアライン施設に支障のない範囲の条件で観測点設営の内諾を得た。正式な道路占用許可申請書は、9月2日に独立行政法人日本高速道路保有・債務返済機構に提出した。施設貸借の主な理由は以下のとおりである。

1. 首都圏で地震観測網を構築する上で、東京湾横断道路「海ほたる・風の塔」は、東京湾内で唯一地震計が設置可能な施設であること。
2. 地震観測を行う上で、防災上有効な地震記録が得られる可能性が高いこと。
3. 観測機器の運用のための一般商用電源（100V）が利用できる場所であること。
4. GPS 時計の衛星受信が確実にこなえる環境であり、アクアライン施設では NTT 回線の利用が可能であること。

道路占用許可申請書が11月7日付けで認められた。工

事の許可条件は許可日から60日間での完成を求められた（図10）。そこで11月から本格的に海ほたと風の塔での観測点設営準備に取り掛かることになった。

### 観測点設営場所とデータ伝送経路

アクアライン管理事務所から施設利用の内諾を得た時点からアクアライン事業所工務課に海ほたる・風の塔の施設への現地調査の案内を正式にお願いした。最初の調査で感じたことは、巨大土木構造部の規模の凄さとともに観測点設営の難しさであった。MeSO-net 観測点は、地震計、観測装置、GPS アンテナの3つからなる。良いデータを得るために地震計は、地下深部に取付けることが必要で、観測装置は、安定した電源が必要である。一方、時刻を校正するためのGPSアンテナは、空が開けた場所に取り付ける必要があるため、それぞれの設置条件に制約がある。過去に行ってきた多くの観測点設営とは大きく異なり、すでに完成した施設への地震計設置とケーブル布設などが生じるためである。長年強震観測で培ってきたノウハウ（坂上、2011）を最大限に駆使しても設置が困難な場所である。

そこで過去に原子力発電所（東海村）、中電知多火力発電所（愛知県）及び本四橋梁（岡山県）など観測環境の厳しい施設に設置されているSMAC型強震計の保守やデータ収集を参考にして取り組むことにした。更にアクアライン施設の観測点候補地は、管理担当者の案内がなければ立ち入りのできない場所である。数回にわたって調査に同行して頂き、既存施設への観測点構築の可能性について現況説明を受けたが、それでも容易に判断できるような場所ではなかった。そこで同行して頂いた技術担当者に観測点設営概略図に基づいて複数の観測可能な候補地点を挙げて頂き、それに基づいて管理事務所から助言を頂き、地震計設置場所を決定した。

#### (1) 海ほたるの地震観測点

海ほたるにおける地震計は、1階の防災センターから、ほぼ真下の30m離れた最下層のコンクリート基礎壁に設置することにした（図11）。地震計設置場所の選定と同時に地震観測装置（データ収録とテレメータ部が一体収納筐体）の設置及びGPSアンテナ等の取付け場所の選定も進めた。これもアクアライン事業所の技術者の助言を受けながら決定することにした。

地震計から地震観測装置間のデータ通信は、専用のCANバスを用いるためケーブル長が100m以内と限定されている。CANバス利用の目的は、通信速度が速いことと耐ノイズ性などに優れているためである。既存施設への配線経路とケーブル長の制約のため、観測装置の設置場所の選定には困難を極めることになった。アクアライン施設全体の管理を担っている事業所の技術者から1階の防災センターを提案して頂き、既存の配線布設経路を利用することで

新 規		更 新		変 更		(番号)	
						年 月 日	
道 路 占 用 許 可 書							
総 管 第 8 6 5 3 号							
平 成 2 0 年 1 1 月 7 日							
住 所 東 京 都 文 京 区 弥 生 1 - 1 - 1							
氏 名 国 立 大 学 法 人 東 京 大 学 地 震 研 究 所							
事 務 長 中 塚 教 夫 殿							
占用の目的	首都直下地震防災・減災特別プロジェクトによる首都圏地震観測網の構築						
占用の場所	路線名	一般国道409号 (東京湾横断・木更津東金道路)				車道・歩道・ <u>その他</u>	
	場所	千葉県木更津市中島地先(東京湾アクアライン 海ほたるPA) 神奈川県川崎市川崎区浮島町地先(川崎人工島)					
占用物件	名称	規模		数量			
	別紙1のとおり		別紙1のとおり		別紙1のとおり		
占用の期間	許可日から 平成24年 3月31日まで		占用物件 の構造	申請書のとおり			
工事の時期	許可日から60日間		工事实施 の方法	申請書のとおり			
道路の 復旧方法	原状回復		添付書類	—			
占 用 料	初年度	7,372円 (算定) 道路法施行令第19条別表による					
	年度	17,695円					
	最終年度	17,695円					
	総額	60,457円					
(履行期限) 納入告知書により指定する期限							
平成20年9月2日付け東大震研管第36号で申請のあった占用については、別紙2の条件を付して許可する。							
独立行政法人日本高速道路保有・債務返済機構 理事長 勢山 廣直							
<p>なお、この処分について不服がある場合は、この処分があったことを知った日の翌日から起算して60日以内に国土交通大臣に対して行政不服審査法による審査請求をすることができる(なお、この処分があったことを知った日の翌日から起算して60日以内であっても、処分の日から1年を経過すると審査請求することができなくなる)。</p> <p>また、処分の取消しの訴えは、この処分があったことを知った日の翌日から起算して6か月以内に独立行政法人日本高速道路保有・債務返済機構を被告として(訴訟においては独立行政法人日本高速道路保有・債務返済機構を代表する者は理事長となります。)提起することができる。ただし、国土交通大臣に対して審査請求をした場合には、処分の取消しの訴えは、その審査請求に対する判決の送達を受けた日の翌日から起算して6か月以内に独立行政法人日本高速道路保有・債務返済機構を被告として提起することができる(なお、この処分があったことを知った日の翌日又はその審査請求に対する判決の送達を受けた日の翌日から起算して6か月以内であっても、処分の日又は判決の日から1年を経過すると処分の取消しの訴えを提起することができなくなる)。</p>							

図 10. 独立行政法人日本高速道路保有・債務返済機構から発行された道路占用許可書

100m 以内のケーブル長にできた。(図 12)。GPS アンテナは、防災センター施設の屋外に設置することにした。しかし、データをテレメータするための NTT 回線を 1 階防災センター(電気室施設、図 13)へ引き込むことは容易ではなかった。NTT 回線の MDF 盤(集合配電盤)が海ほたる木更津側の駐車場横の技術資料館(海めがね)施設の中に存在するため、防災センターまでは約 200m の通信ケーブルの布設が必要であった。同行して頂いた技術者から 1 階駐車場の天井配管配線布設施設の利用で対処できるとの回答を得た(図 14)。

## (2) 風の塔の地震観測点

風の塔における地震計は、最下層のコンクリート壁への設置が施設の構造上不可能のため、コンクリート床面に設置することにした(図 15)。地震計設置場所の選定と同時

に地震観測装置の設置及び GPS アンテナ等の取付け場所の選定も進めた。これもアクアライン事業所の技術者の助言を受けながら決定することにした。

テレメータするための通信ケーブルは、緊急避難道路内を川崎側へ数キロ布設することになり数千万円ほどの負担金が発生するため、風の塔への観測点構築を一時あきらめかけた(図 16)。しかし、東京湾第二海堡での地震観測点の設営状況(坂上, 2009a, 坂上・他 2009b)を思い出し、無線 LAN または携帯電話の利用を考えた。現場に案内をして頂いた技術担当者に風の塔の屋外出口建屋内での携帯電話の使用の可能性をたずねたところ、担当者からは出口付近であったら問題なく携帯の利用が可能と言われた(図 17)。さっそく所持していた携帯で防水扉を閉めて室内で電波状況と通話を試みた。結果は出口付近では通話中でも電波強



図 11. 後方○印の壁面を利用して垂直に地震計を固定手前ノイズ調査の地震計（海ほたる）



図 12. 地震計設置付近の既存配線布設の利用（海ほたる）

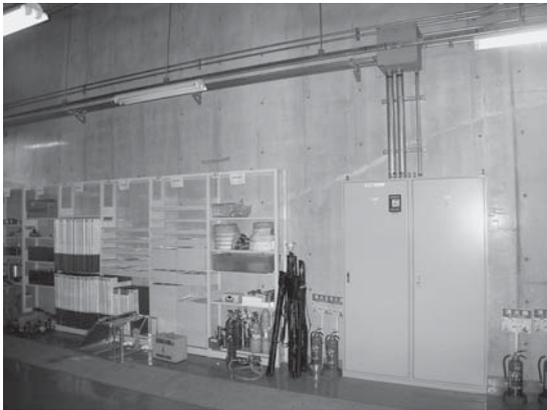


図 13. 海ほたる 1 階の防災センター内部（電気室）



図 14. 1 階駐車場天井の配管配線の布設状況（海ほたる）



図 15. ○印地点のコンクリート床面に地震計を固定（風の塔）



図 16. 川崎側から風の塔間の緊急避難通路

度の減少も生じず問題なく通話が可能であったが、一階下りた踊り場では、電波強度が極端に減少し通話は途中で途切れた。そのためデータ送信アンテナ及び送信装置の取付けは、出口付近の鉄骨と壁の空間を利用することにした。携帯等を収納した送信装置と GPS アンテナは、鉄骨を利用して、取付け金具で固定することにした（図 18）。

次に、地震観測装置の設置場所から風の塔施設の屋外にどのようにデータ送信装置を取付けるかを検討した。既存配管の利用も考えて調査したが、配管径が小径のため追加通線は容易にできない事が分かった。また、既存施設への新たな配管施工は、施設に損傷を及ぼすため無理と判断した（図 19）。地震計から地震観測装置間のデータ通信は、専



図 17. 風の塔 1 階非常出口建屋内部に GPS・携帯電話設置

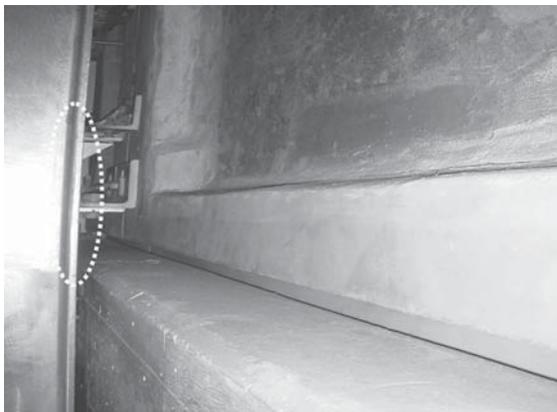


図 18. 非常出口付近の内部。○印：GPS アンテナ取付け地点 (風の塔)



図 19. 風の塔の屋外での既存配管の調査

用の CAN バスを用いるため、ケーブル長が 100m 以上の長さになったことで、観測装置の設置場所の選定には困難を極めることになった。

アクアライン事業所から地震計、収録装置及び GPS アンテナなどの設置場所を含めた観測点設営候補を提案して

もらった。風の塔の施設については、4つの提案をして頂いた。しかし地震計から観測装置間のケーブル長は 100m 以内と限定されたことで、その中の④案だけが観測計画に適合しているため、④案を採用することにした (図 20)。その後、観測地点の地震計設置方位の確定とノイズ及びデータ伝送 (携帯) テストを地震計設置前に実施し、風の塔から地震研究所へのデータ伝送も正常にできることが確認できた。

以上のことから、アクアライン施設の海ほたと風の塔の 2 ヶ所とも MeSO-net 地震観測に適合していることになり、本格的に地震観測点の構築に向けて取り掛かることになった。

### 地震計取付け金具の製作

地震計取付け専用金具の設計は著者の一人が行い、地震研究所技術部で NC 機械 (数値制御加工) を用いて製作を行った (内田他, 2009)。海ほたと風の塔の取付け金具の特徴は次の通りである。

海ほたるとは、コンクリート壁面に地震計を確実に設置するためアルミ厚材 (A5052) を半円筒形状に加工し、コンクリート壁面と地震計本体の固定用 2 種類の取付け金具の製作を行った。地震計筐体はステンレス製で、外径は 4.5 インチ (114.3 mm) のため、金具の内径精度を 114.4 mm に仕上げ加工を行い、地震計と固定金具を確実に密着させるようにした。アルミ厚材を用いた理由は、NC 加工が容易にできることとステンレス材と異なり安価のためである。

地震計の保護の目的で地震計筐体全体を金具で覆うようにし、筐体内の検出器に締付け圧力が掛からないよう筐体全体を固定する方法を用いた。構造部が大きく揺れた場合に地震計がずれ動いたり傾いたりしないような金具を設計した。コンクリート壁面に固定する金具には、地震計を水平と垂直に設置するためレベルゲージ 2 個を取付けた。コンクリート壁面の地震計固定は、取付け金具の M16 の調整ボルト (すわり付き止めねじ) を用い、コンクリート壁の凸凹に対し、水平かつ垂直に調整を図りながら壁面に強固に固定できるようにした (図 21)。

一方、風の塔は、前述したように地震計の設置場所が施設の構造の問題で壁固定は不可能であるため、コンクリートたたき面に直接地震計を設置することとした。取り付け台座の上に MeSO-net 観測孔と同様なボーリング孔を想定した鋼管柱を乗せ、鋼管柱内に地震計を設置することにした。鋼管柱の大きさは、外径 5.5 インチ (139.7 mm) で、内径は 4.5 インチ (114.3 mm) である。コンクリートたたき面に設置する取付け台座部など全てステンレス材 (SUS304) を用い、NC 機械を用いて製作を行った。ステンレス材を用いた理由は、設置場所の湿気による腐食と温度変化などの影響を受けにくい硬質な材質のためである。地震計取付

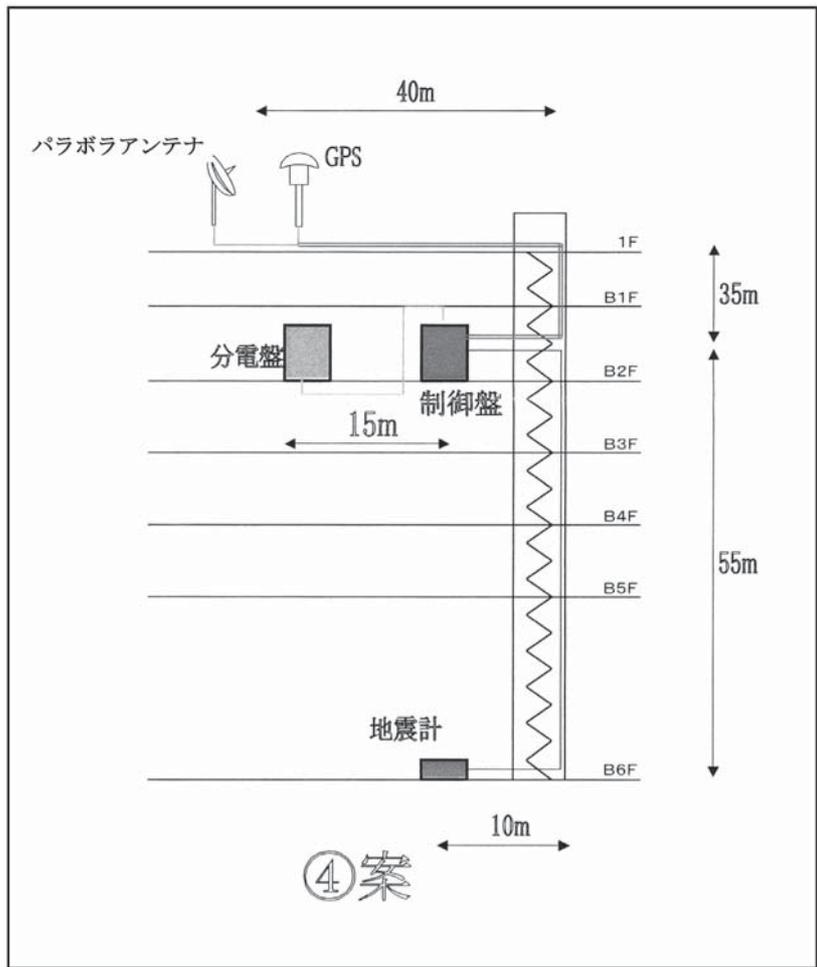


図 20. 地震観測点設営条件を満たした風の塔の観測点配置。(アクアライン事業所設営資料, 2008)

け台座の製作は、台座面に鋼管柱を直角に固定するため台座に鋼管径に合わせた溝を切削し、台座と鋼管を直角に支持するよう三角形の金具の取付け部4ヵ所にNCで溝切削を行った。台座と鋼管柱及び支え金具の各接合部に確実に接続を行うためステンレス溶接を行った。台座部にレベルゲージ2個を取付け、台座8ヵ所に水平調整用のM16ネジ穴を設けた。コンクリート面にはアンカーボルトを用い、台座の固定はM16の六角穴付ボルト4本を使用する設計にした。なお、使用するボルトは全てステンレス材である(図22)。

### 設営資材機材

事前に準備した資材機材は以下のとおりである。

1. 地中地震計（白山工業製）（海ほたる・風の塔）
2. コンクリート壁面への地震計固定用アルミ製特殊金具（海ほたる）
3. コンクリート床面への地震計固定用ステンレス製特殊金具（風の塔）
4. 地震計から地震観測装置までの伝送用ケーブル（昭和

電線製デバイスネットケーブル：TDN-18U-100G）100m（海ほたる・風の塔）

5. 配線ケーブル用アクリル製タグ板500枚（海ほたる・風の塔）
6. 地震観測装置（白山工業製）2ヵ所の観測点筐体
7. 地震観測装置から非常出口間のLANケーブル（富士電線製：CAT5e UTP）100m（風の塔）
8. GPSアンテナ（白山工業製）（海ほたる・風の塔）

アクアライン事業所に搬入する資材・機材は地震研究所に一旦納入し、搬入リストに基づき確認作業を行った。特に重要機器である地中地震計、データ収録装置及び地震計固定金具（図23、24）など丁寧な輸送が必要なため自ら公用車で搬入することにした。

### 地震計及び地震観測装置の設営

通常観測点設営作業は、外部業者に発注して行うことが一般的である。しかし、今回の設置作業の実施に当っては、設営点が特殊な場所で容易に立ち入りのできない施設のため、施設全体の維持管理を担っているアクアライン事業所

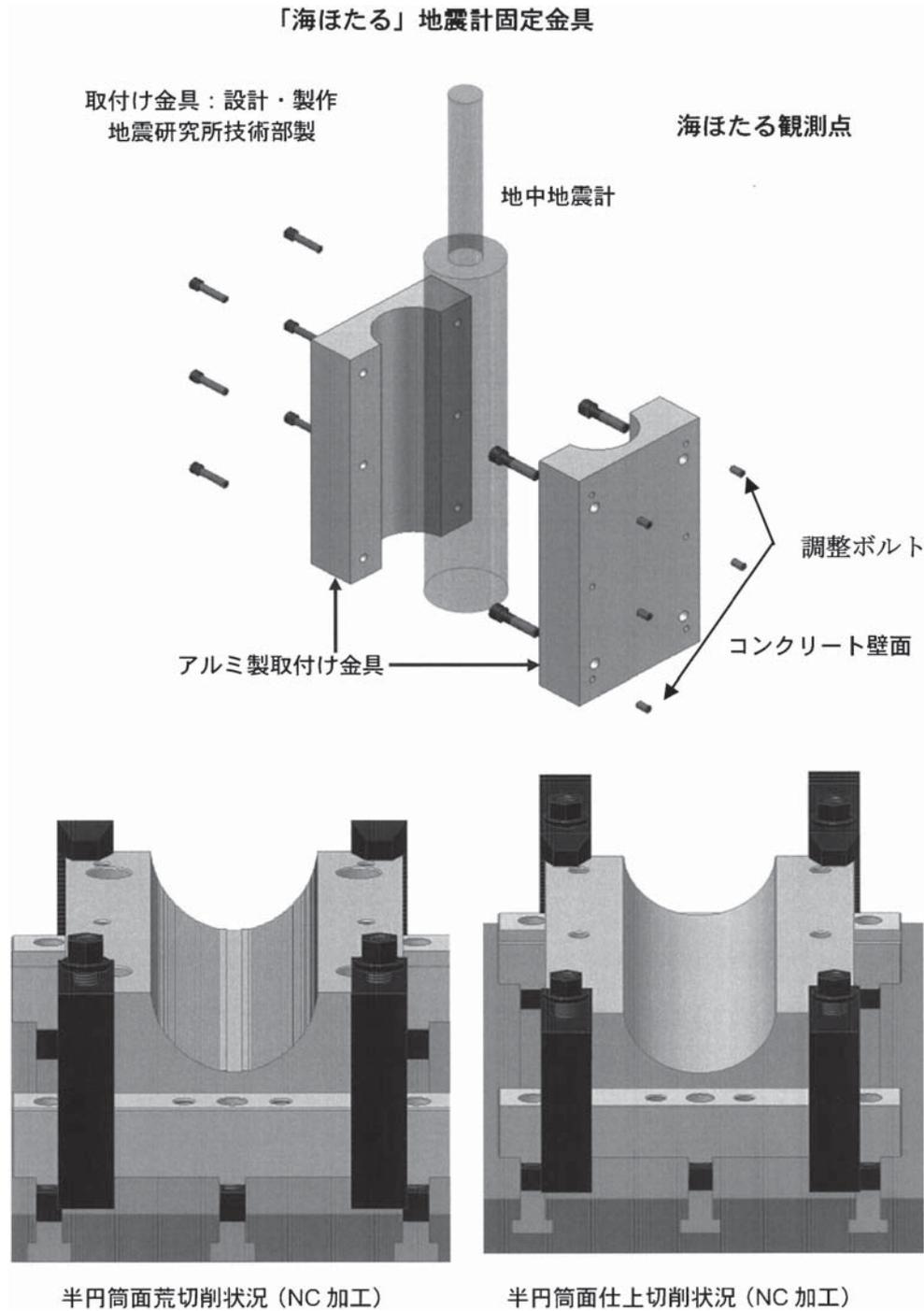


図 21. 海ほたる地震観測点の地震計取付け専用金具の概略固定例と金具の NC 切削の加工例

に依頼することにした。とくに地震計設置点から地震観測装置の設置場所間までの信号ケーブルの配線等は、既存の配管配線布設経路を利用するため、布設経路に精通した技術者でなければできない場所である。地震計及び地震観測装置の設置については、事前に設置仕様を提出し説明を行った。その仕様書に基づいて数回にわたって打合せを行った。また地震計設置の細部の確認と最終の微調整は自ら行うことにした。設置工程表を表 1 に示す。

信号ケーブルの配線は、アクアラインの既存の配管配線布設経路を利用して地震観測点から収録装置と GPS アンテナ間の配線を行った (図 25)。配線したケーブルには、東京大学地震研究所と明示したタグ板をケーブルに取り付けた (図 26)。海ほたる施設の地震計設置の終盤には、アクアライン事業所の技術担当者と現場立会いを行い、最終調整を行った (図 27, 28, 29, 30, 31)。

風の塔施設への台座部の支持金具の水平調整ネジ部が溶

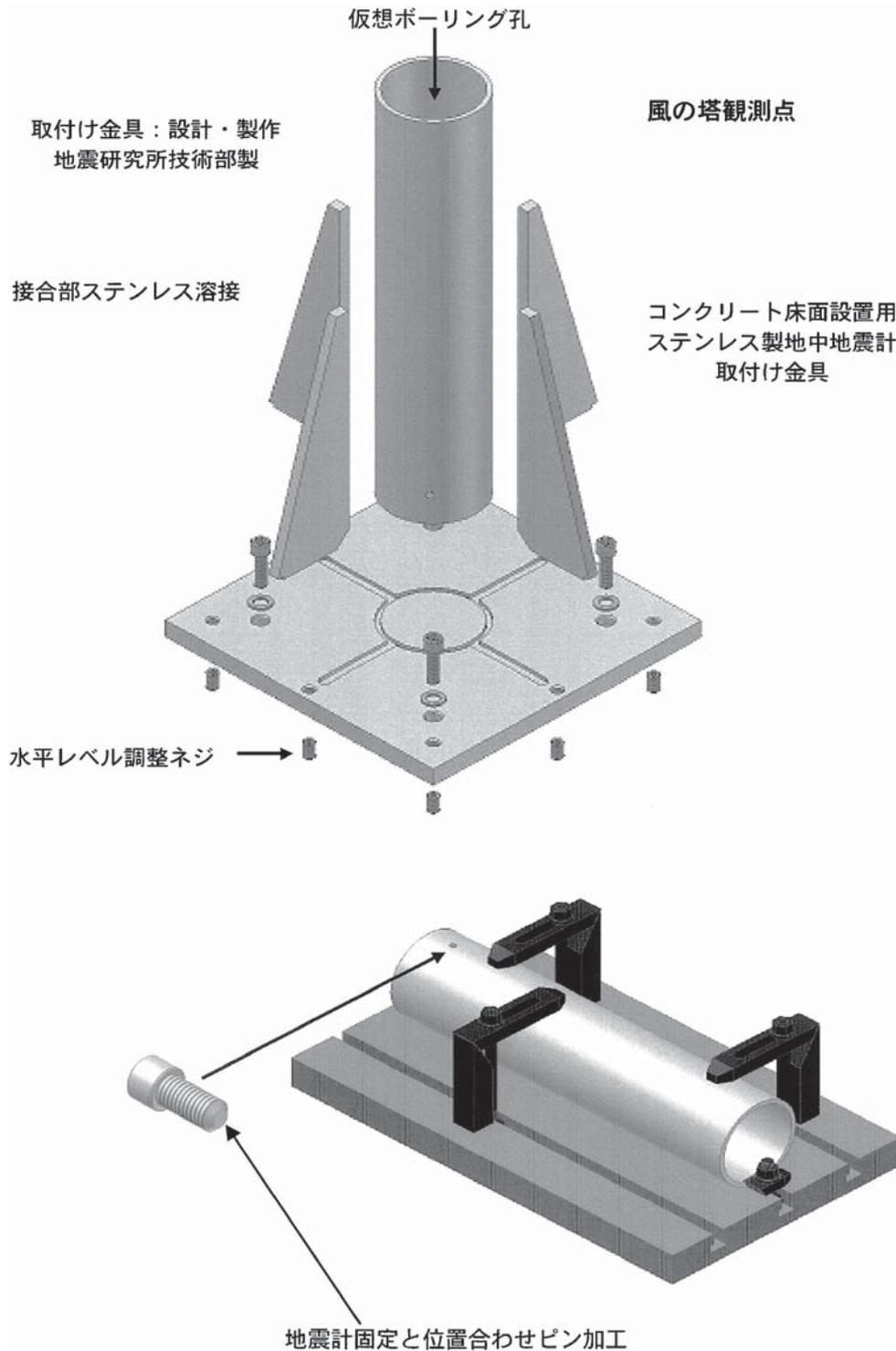


図 22. 風の塔の地震観測点に設置する地震計取付け専用金具の概略図と NC 切削の加工図

接時の高温の影響でわずかな変形を生じ、調整に支障を及ぼした。そこでネジ部に再度、タップ（ネジ山を立てる工具）通しを行い、調整ボルトがスムーズに動作できるようにした。地震計の最終設置は、設置方位と水平・垂直レベルなど確認を行い、取付け調整については自ら微調整を行い、確実にコンクリート壁面と床面に強固に固定した（図

32, 33, 34）。なおバネ式制振機能は、円筒形取付け金具内で上部3カ所と下部3カ所のバネ式突起部が突っ張り、地震時に地震計がずれ動いたりしないように強力的に固定されている。また地震計筐体の下部には、地震計方位決め用のキー溝が彫られ、金具の深部に取付けた固定ピンにキー溝が差し込まれ確実に固定されるように設計されている（図

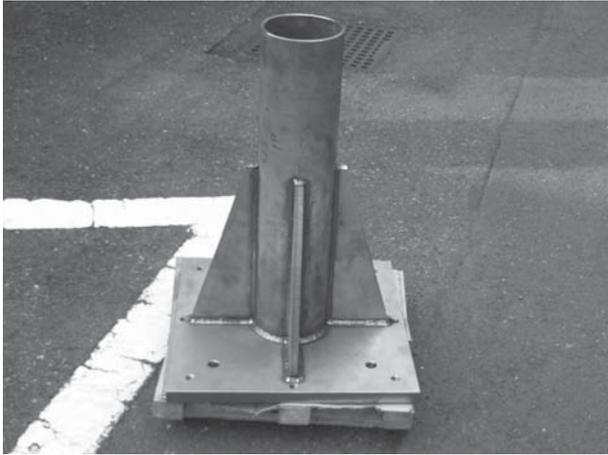


図 23. 風の塔に設置するステンレスの取付け金具



図 24. 取付け金具の口径. MeSO-net 観測孔と同径

表 1. MeSO-net 地震観測点の構築への 60 日間の設置工程表

	2日	4日	6日	8日	10日	12日	14日	16日	18日	20日	22日	24日	26日	28日	30日	32日	34日	36日	38日	40日	42日	44日	46日	48日	50日	52日	54日	56日	58日	60日							
<b>共通工事</b>																																					
現場探検調査																																					
資材搬入・納入																																					
<b>高橋たるPA工事</b>																																					
資材搬入工事																																					
電気室内信号用配管敷設工事																																					
電気室内アンテナ用配管敷設工事																																					
操作盤取付け配管工事																																					
F6配管敷設工事																																					
地震計検出器配線敷設工事																																					
地震計検出器取付け設工事																																					
防災センター番号配線敷設工事																																					
アンテナ取付け工事																																					
アンテナ用ケーブル敷設工事																																					
配線接続 および補工事																																					
試運転調整立会い																																					
<b>川崎人工島地震計工事</b>																																					
資材搬入工事																																					
2F電源分割取出し工事																																					
2F電源配管配線工事																																					
F6配管敷設工事																																					
パラボラアンテナ用配管敷設工事																																					
パラボラアンテナ取付け工事																																					
アンテナ用ケーブルサポート工事																																					
地震計検出器用サポート工事																																					
F6地震計検出器取付け工事																																					
地震計検出器配線敷設工事																																					
アンテナ用ケーブル敷設工事																																					
配線接続 および補工事																																					
試運転調整立会い																																					

35). また携帯電話等を収納する送信装置と GPS アンテナは、風の塔の 1 階出口扉付近の鉄骨を利用して、取付け金具で固定した (図 36, 37). 最後に完成した観測点の地震

計と収録装置の筐体に「東京大学地震研究所」と明示したシールを貼り終え全て完成した (図 38, 39, 40, 41).

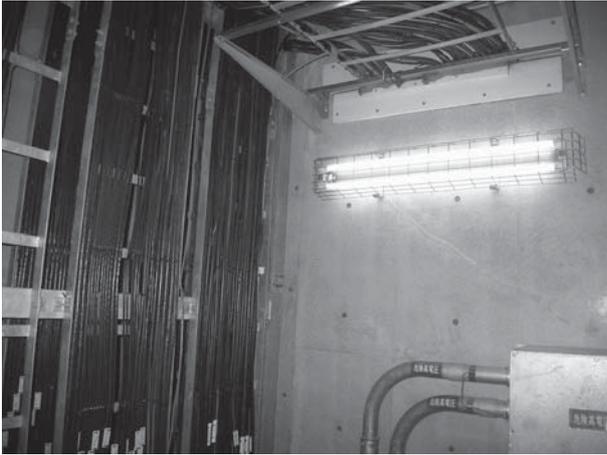


図 25. 既存配管配線布設施設を利用して配線した信号ケーブル（海ほたる）

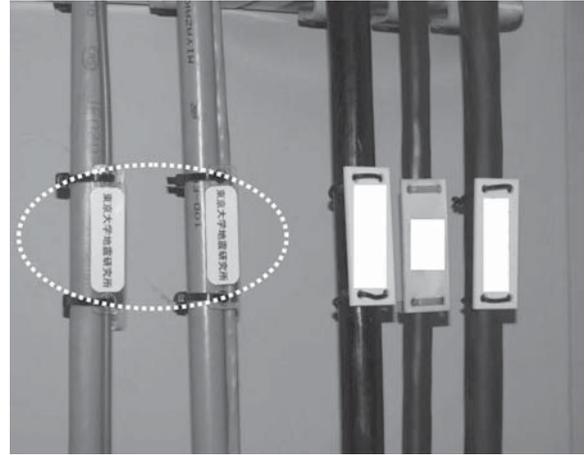


図 26. 配線した信号ケーブルに取付けたタグ板（海ほたる）

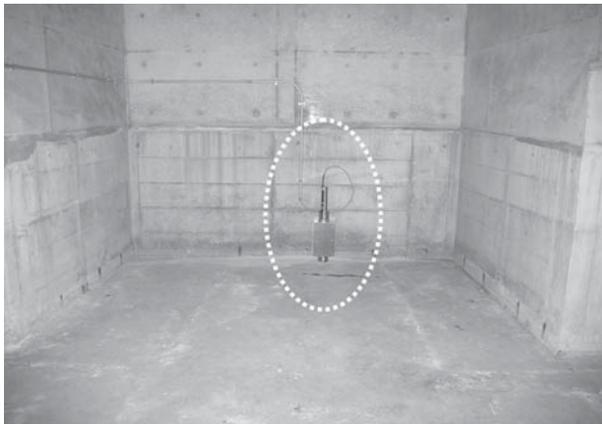


図 27. 海ほたる施設の最下層壁面に設置した地震計



図 28. 地震計を取付けアルミ金具で覆い保護した状況（海ほたる）



図 29. 地震計取付け状況の拡大. レベル調整器の取付け状況（海ほたる）



図 30. 収録装置筐体の取付け状況. 左上：電力メータ（海ほたる）

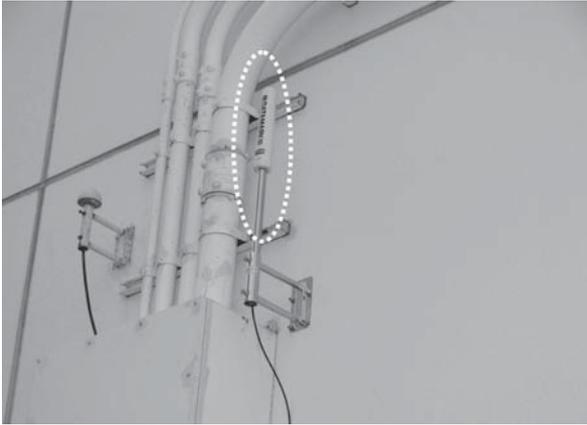


図 31. 海ほたる防災センター施設に設置した GPS アンテナ



図 34. 地震計の円筒ステンレス金具に挿入取付け状況 (風の塔)



図 32. 風の塔に設置した地震計台座のタップ作業 (ネジ切)



図 33. 地震計設置台座をボルトで固定した状況 (風の塔)

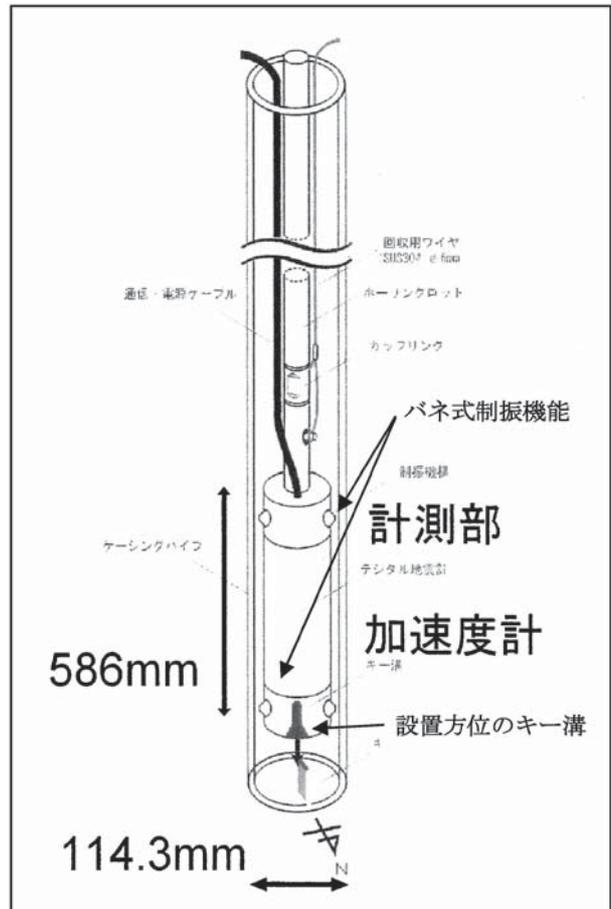


図 35. バネ式制振機能 (突起部) の金具内での固定状況  
首都圏地震観測網 MeSO-net 資料 (2008) に加筆



図 36. 風の塔非常出口付近のデータ送信装置の取付け状況



図 37. GPS アンテナと送信装置を設置した状況（風の塔）

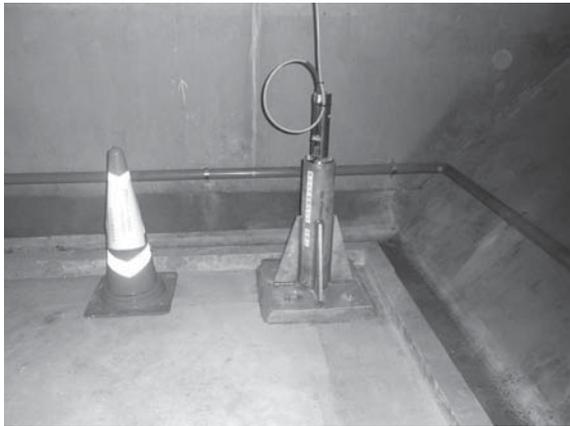


図 38. 風の塔に地震計設置を完了した状況

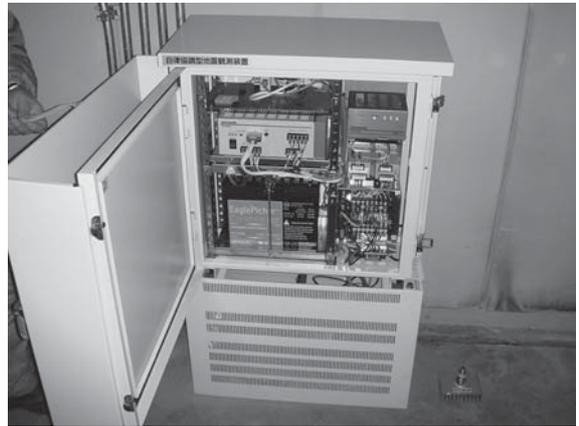


図 39. 収録装置筐体内の各種装置の取付け状況（風の塔）



図 40. 全て設置が完了した収録装置の筐体（風の塔）

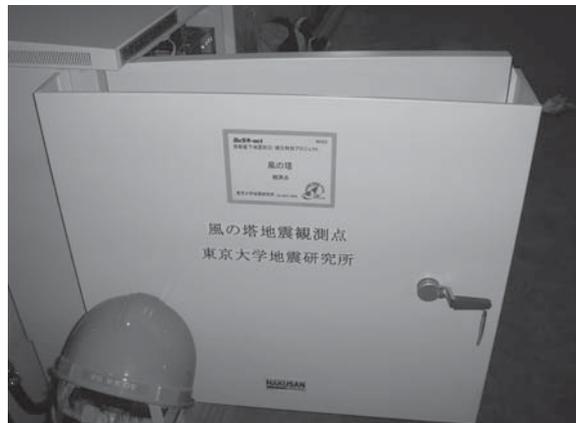


図 41. 収録装置筐体に明示した地震計観測点名（風の塔）

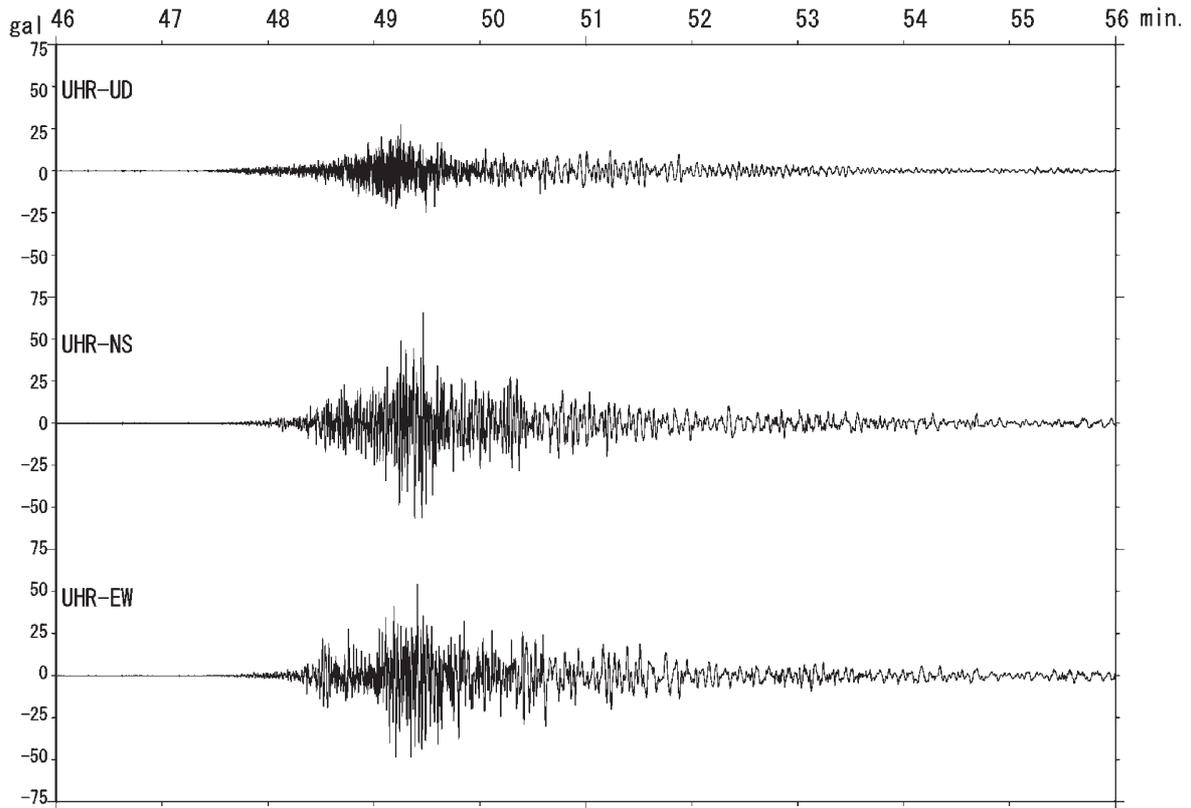


図 42. 2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分頃海ほたる観測点 (UHR) で観測された加速度 3 成分波形 (UD/NS/EW)

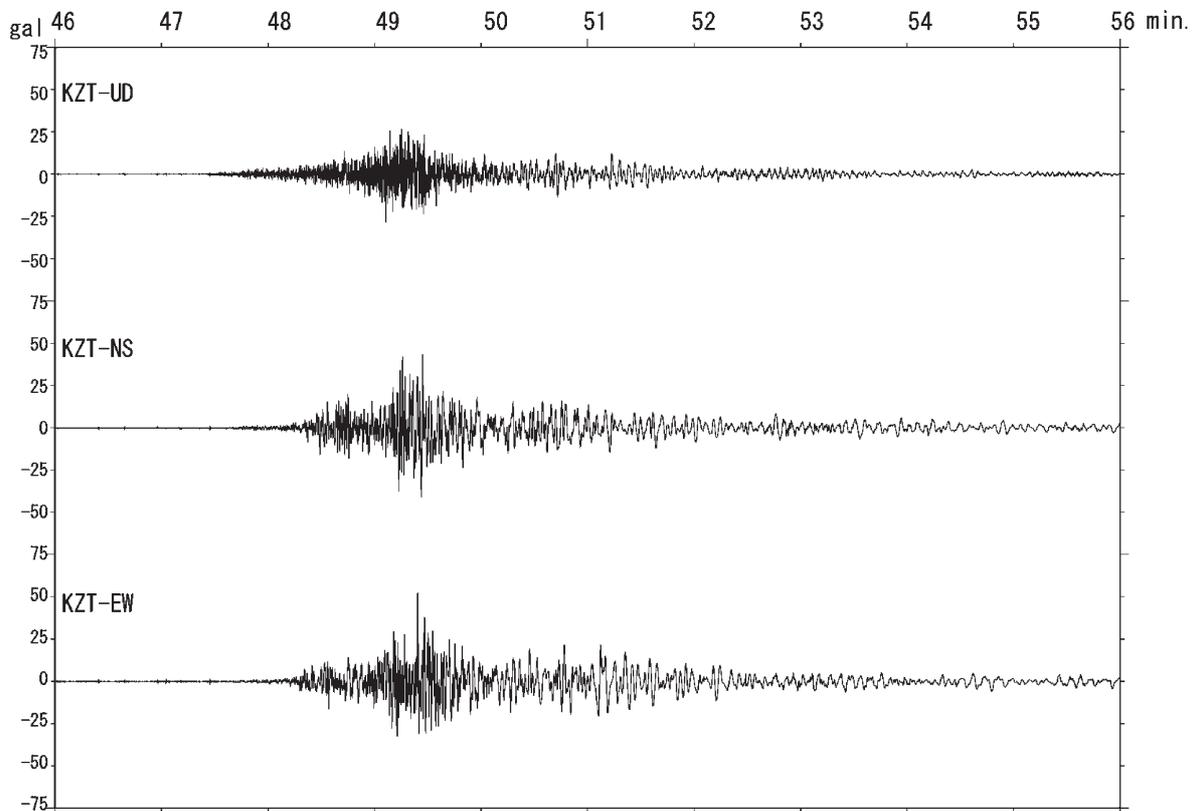


図 43. 2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分頃風の塔観測点 (KZT) で観測された加速度 3 成分波形 (UD/NS/EW)

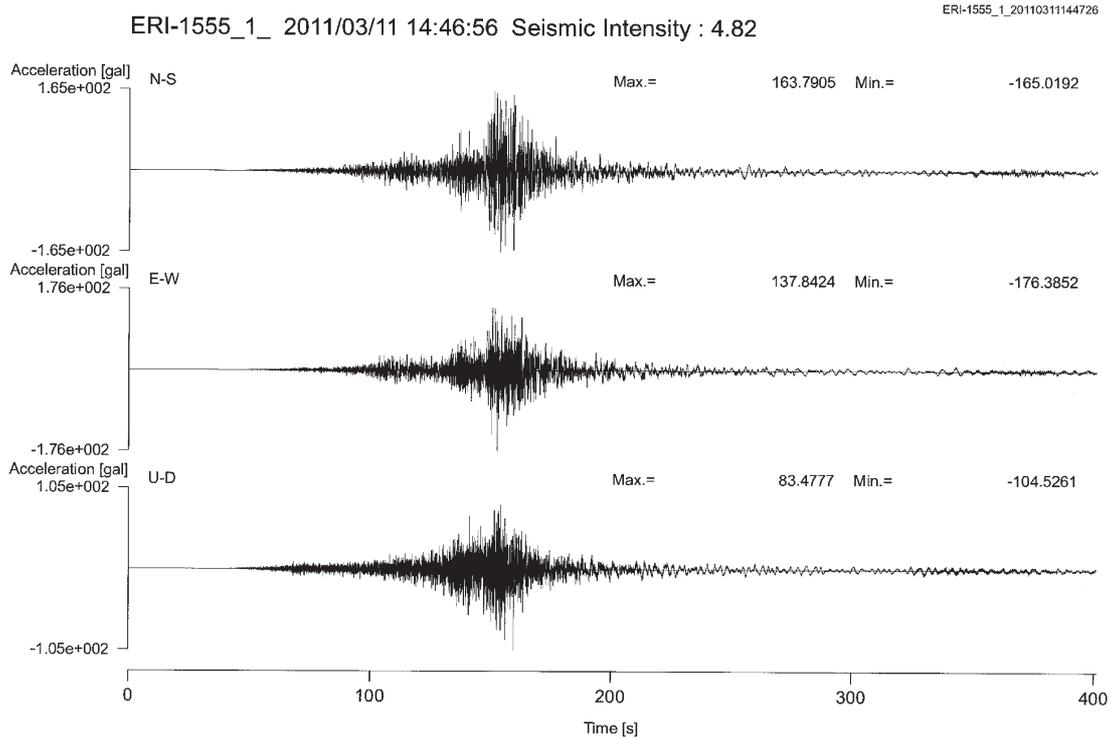


図 44. 3月11日14時46分頃地震研究所地表観測点（ERI-1 555）で観測された加速度3成分波形（NS/EW/UD）

### おわりに

首都直下プロジェクトでは、首都直下地震の全体像を解明し地震による被害の軽減を目的として、296ヶ所にボアホール型の地震計を設置し首都圏地震観測網（MeSO-net）を構築した。地震観測点は陸上にしか設置できないため、東京湾においては、沿岸の埋め立て地、もしくは人工施設及び人工島に設置した。その中で、東京湾アクアライン（海ほたる・風の塔）と第二海堡の2ヶ所は陸部であり、地震観測点の配置上、重要な位置にある。地震観測点の設営場所は、設置環境の厳しい地点のため、アクアライン管理事務所及びアクアライン事業所の多くの技術者と地震計や観測装置の納入業者の協力を得なければならなかったと思われる。

MeSO-net 観測点では良好な地震データが多数得られている。東京湾アクアライン（海ほたる・風の塔）と第二海堡地震観測点も機器故障や不具合など発生せず順調に稼動し、良好な地震データが得られていることを報告する。2011年3月11日に東北地方太平洋沖で発生したM9.0の超巨大地震の海ほたる（図42）と風の塔（図43）で得られた加速度波形（gal）である。地震波形は縦軸が加速度、横軸は時刻（分）で、10分間の記録である。計測震度相当値は、4.5と4.3であった。

図44は、地震研究所地表観測点で観測された加速度波形で、約400秒で切り取った記録である。加速度値は、U-D：105 gal、N-S：165 gal、E-W：176 galほどで、計測震度は4.8である。なお、海ほたる、風の塔および地震研究所の記録とも600秒以上揺れが続いた紡錘形状の記録であることが分かった。

アクアラインの海ほたと風の塔の地震観測点の完成から1年後、地震研究所の小川原事務長から東京大学本部事務の久保理事、若井総務部長、田畑財務課長、河野財務課職員の東京湾アクアラインとその施設の中に構築した“海ほたる・風の塔”のMeSO-net地震観測点の訪問の要望を受けた。東京湾横断道路株式会社アクアライン管理事務所と日程調整をさせて頂き、2010年8月10日にアクアライン施設の見学をさせて頂いた。地震研究所からは平田所長、小川原事務長、塩田副事務長、酒井准教授、坂上技術職員が同行することになった。視察当日は、管理事務所の田中所長室でアクアライン施設の説明を受け、説明後に田中所長の案内でワゴン車2台に分乗しアクアライン施設の緊急避難通路と風の塔など現場で説明を頂いた。また、MeSO-net地震観測点については、酒井が説明を行った。その時の視察の状況と風の塔での全体写真を紹介する（図45、46、47、48、49）。



図 45. 所長室でアクアライン施設の説明を受けている



図 46. 避難路で避難経路の説明を受けている



図 47. 風の塔の換気口内に設置した収録部の説明

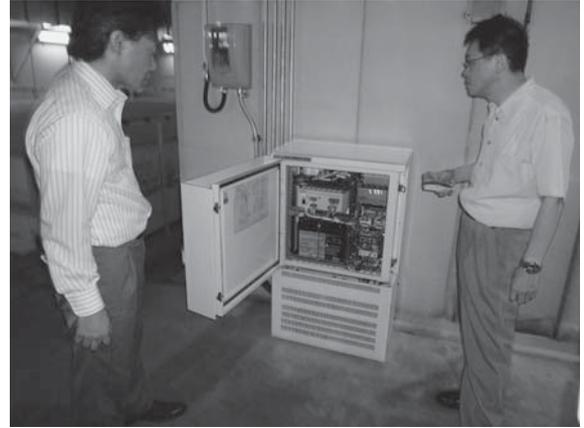


図 48. 換気口施設内に設置した収録部の説明（酒井）



図 49. 視察の全体写真。左から、若井総務部長・平田所長・小川原事務長・管理事務所田中所長・河野財務課職員・久保理事・田畑財務課長・酒井・塩田副事務長・坂上。

謝 辞：東京湾アクアラインの“海ほたる・風の塔”での地震観測点の設営には、NEXCO 東日本株式会社、東京湾横断道路株式会社アクアライン管理事務所及びアクアライン事業所の皆様のご協力を頂き完成できたものと深く感謝とお礼を申し上げます。観測点設営環境の厳しい施設にも関わらず観測点設営作業を請け負っていただきましたアクアライン管理事務所とアクアライン事業所の皆様方に感謝を申し上げます。地震計及び収録装置の設置調整を担って頂きました白山工業株式会社の関係者に感謝を申し上げます。地震計取付け特殊金具など晩くまで製作を行って頂いた、地震研究所技術部技術開発室の内田正之技術専門員には心から感謝いたします。事務手続では、土地貸借・請負契約など円滑に進めていただいた地震研究所事務部研究支援チーム管理担当係長高島悟史専門員と鈴木隆人管理担当主任に感謝を申し上げます。この首都直下プロジェクトの中心的メンバーの笠原敬司特任教授には専門的なアドバイスとサポートをしていただきました。宮川幸治技術専門

職員には、観測点設営地点のノイズおよびデータ伝送調査（風の塔）などにご協力を頂きました。お礼申し上げます。技術研究報告に記載いたしました図の一部を作成して頂きました技術部技術開発室の浦野幸子技術職員と災害科学系研究部門の川田美穂子事務補佐員に感謝とお礼を申し上げます。首都圏地震観測網の情報を頂きました地震予知研究センターの川北優子学術支援専門職員にお礼申し上げます。技術研究報告の図の編集をして頂きました地震火山情報センターの上原美貴特任専門職員にお礼申し上げます。アクアラインの特殊な施設での地震観測点の設営では、多くの皆様にお世話になりました。とくに首都直下プロジェクト代表者の平田直教授には、貴重な得がたい体験の機会を与えて頂いたことに対し、感謝とお礼を申し上げます。

本報告を纏めるに当たっては、災害科学系研究部門の三宅弘恵助教には適切なお助言とご協力をいただきました。感謝とお礼を申し上げます。

本研究は、文部科学省の研究委託事業「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト①首都圏でのプレート構造調査、震源断層モデル等の構造等」の一部として行われた。

なお、本文中の組織名や職名等は全て当時のものであり、現在は改組や異動等により変わっていることがあります。

## 文 献

東京湾アクアライン資料，日本道路公団東京第二管理局/東京湾アクアライン管理事務所，1-12，2000。  
首都圏地震観測網 MeSO-net 紹介資料，2008，首都直下地震防災・

減災プロジェクト事務局，東京大学地震研究所。  
アクアライン施設の地震計設置工事資料（海ほたる/風の塔），2008，設計会社東京湾横断道路株式会社。  
海ほたる中感度地震観測点完成図書—報告書—2008，白山工業株式会社。  
風の塔中感度地震観測点完成図書—報告書—2008，白山工業株式会社。  
東京湾アクアライン資料，東日本高速道路株式会社関東支社東京湾アクアライン管理事務所，1-6，2009。  
内田正之・松本繁樹・坂上 実，2009，首都直下地震防災・減災特別プロジェクトにおける検出器取付け装置及び太陽電池モジュールの支持架台の製作について，東京大学地震研究所職員研修会—発表集—，11，2009。  
坂上 実，首都直下地震防災・減災特別プロジェクトにおける東京湾第二海堡での地震観測点の設営について，東京大学地震研究所職員研修会—発表集—，13-14，2009。  
坂上 実・平田 直・瀧川 直・瀧川 直，首都直下地震防災・減災特別プロジェクトにおける東京湾第二海堡での地震観測点の設営について，東京大学地震研究所技術研究報告，No. 15，1-19，2009。  
坂上 実，地震研究所における強震動観測の変遷と現状，これから，東京大学地震研究所技術研究報告，No. 17，77-94，2011。  
平田 直・酒井慎一・佐藤比呂志・佐竹健治・瀧川 直，首都直下地震防災・減災特別プロジェクト①「首都圏周辺でのプレート構造調査、震源断層モデル等の構造等」の概要，東京大学地震研究所彙報，第84号，第2冊，41-56平成21年（2009）。  
酒井慎一・平田 直，首都圏地震観測網の設置計画，東京大学地震研究所彙報，第84号，第2冊，57-70，平成21年（2009）。  
笠原敬司・酒井慎一・森田裕一・平田 直・鶴岡 弘・中川茂樹・楠城一嘉・小原一成，首都圏地震観測網（MeSO-net）の展開，京大大学地震研究所彙報，第84号，第2冊，71-88，平成21年（2009）。  
中川茂樹・鶴岡 弘・川北優子・酒井慎一・平田 直，首都圏地震観測網データセンターの構築と運用，東京大学地震研究所彙報，第84号，第2冊，107-114，平成21年（2009）。