

# 2009年8月11日に駿河湾で発生した地震による 深層水取水管の被災とその要因

Damage of Deep Ocean Water Pipes due to the Suruga Bay Earthquake on 11 August, 2009

松本浩幸<sup>1</sup>・馬場俊孝<sup>2</sup>・柏瀬憲彦<sup>3</sup>・金田義行<sup>4</sup>・三須敏郎<sup>5</sup>・堀 哲郎<sup>6</sup>

Hiroyuki MATSUMOTO, Toshitaka BABA, Kazuhiko KASHIWASE, Toshiro MISU and Tetsuro HORI

On 11 August, 2009, at 05:07 JST, a moderate-to-large earthquake struck two deep ocean water pipes, which reach 397 m and 687 m deep at Suruga Bay in the near-field. We carried out two surveys by using R/V Natsushima and ROV Hyper-Dolphin for better understanding of damage of the water pipes and its cause. The first survey was done by using ROV Hyper-Dolphin, which contained the visual surveys. We have realized that the 687 m water pipe has been flowed at least 2 km away from the original laid position. The second survey using R/V Natsushima was done in order to reproduce the bathymetry map in the source area. We could discover an erosion pattern created near the 687 m water pipe, whereas a sediment pattern in the downstream, which is possibly a submarine landslide evidence caused by the earthquake.

## 1. はじめに

2009年8月11日05時07分(日本時間)に駿河湾の深さ23kmでM6.5の地震が発生して、震源に近い静岡県伊豆市、焼津市、牧之原市、御前崎市で震度6弱を観測した(気象庁, 2009)。以下ではこの地震を駿河湾地震と呼ぶが、この駿河湾地震の発生を受けて気象庁は初めて「東海地震観測情報」を発表したことで注目された地震である。図-1に示すように、本震の震源メカニズムは、圧力軸が北北東-南南西方向の横ずれ成分を持つ逆断層型で、フィリピン海プレート内で発生したスラブ内地震である。図-1には地震発生から24時間後までの余震分布を示しており、その分布から断層面の拡がりや断層走向方向に約20kmと推測できる。

この駿河湾地震では、静岡県を中心に神奈川県、愛知県、東京都、長野県で人的被害ならびに住家被害が発生した。そして、静岡県牧之原市では東名高速道路の盛土のり面が約40mにわたり崩落する土砂災害も発生している。また漁港を含む港湾施設も一部で岸壁が傾斜する不等沈下、ならびに焼津港の埋立地では液状化の被害が確認された(静岡県, 2009)。さらに図-1に示すように、

静岡県が駿河湾で運用している駿河湾深層水取水施設が駿河湾地震の震源域にあり、駿河湾地震を契機として深層水の温度と濁度に急激な変化が見られ、深層水取水管に何らかの障害が発生したことを示唆していた。

そのため海洋研究開発機構では、駿河湾地震の発生から約4ヶ月後の2009年12月に、静岡県との協力により深層水取水管の目視確認を目的とした無人探査機による潜航調査、ならびに駿河湾地震後の震源域の海底地形データの取得を目的とした海洋調査船による震源域における広域海底地形調査を実施した。本稿ではそれらの調査結果を速報として報告する。

## 2. 駿河湾深層水取水施設とその被害状況

静岡県では2001年から焼津市の沖合、水深397mと水深687mの海底から2層の海洋深層水を取水している。そして静岡県水産技術研究所駿河湾深層水水産利用施設へ送水して研究目的に利用されるほか、深層水を利用したオリジナル商品の開発等により地域産業の振興に寄与している。2本の深層水取水管は図-1に示すように、焼津新港から東向きに並行して沖合に向かって延伸しており、397m取水管は約3.3km、687m取水管は約7.3kmの管長をもつ。表-1に示すように、深層水取水管の材質は硬質ポリエチレン管の上に亜鉛メッキ鉄線を寄り合わせて外装した、継ぎ目のない鉄線鎧装硬質ポリエチレン管を用いた構造となっている。また取水管の径は397m深層水と687m深層水で多少異なるが、深層水取水管の設計破断強度は約1500kNである。両取水管先端には取水口を固定するために、三角錐トラス構造をした高さ7.5mの取水口やぐらを設置している。

1	正会員	博(工)	(独法) 海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト
2		博(理)	(独法) 海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト
3			(独法) 海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト
4		理博	(独法) 海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト
5			静岡県 経済産業部水産業局
6	正会員		清水建設(株) 新エネルギーエンジニアリング事業部

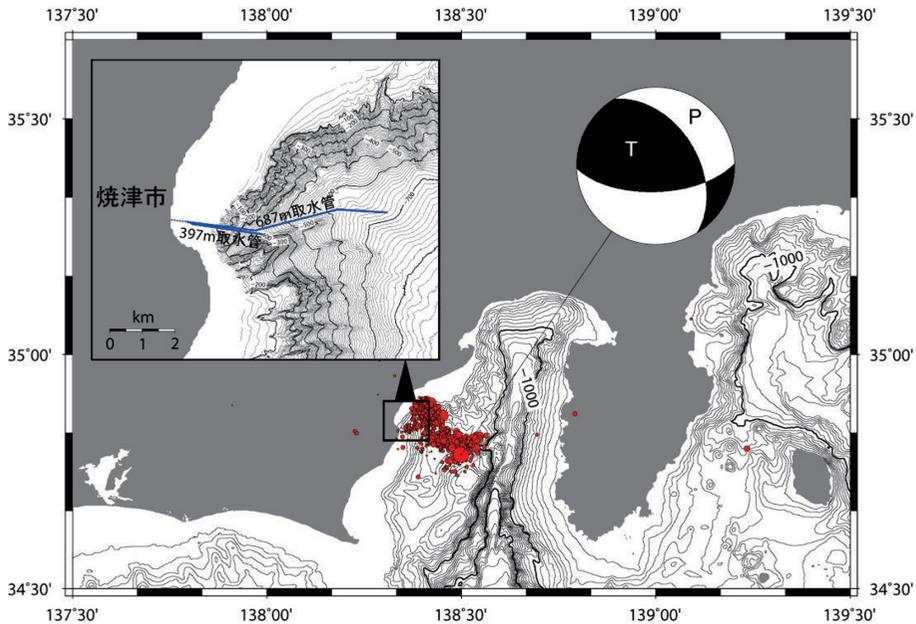


図-1 2009年8月11日に駿河湾で発生した地震の震源ならびに駿河湾深層水取水管の設置位置

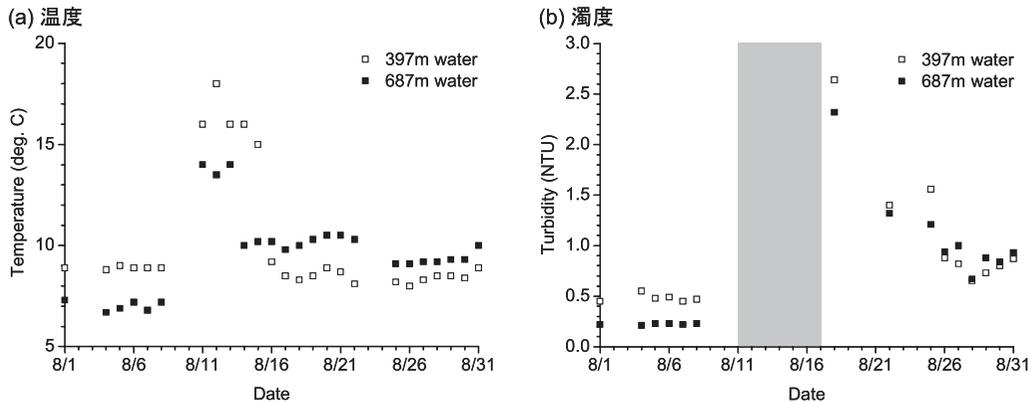


図-2 2009年8月の駿河湾深層水の (a) 温度と (b) 濁度の時系列変化 (陰影を付した期間は測定不能)

深層水取水施設では、原則1日1回の頻度で深層水の温度と濁度を計測機器により記録している。図-2に2009年8月の温度と濁度の時系列データを示す。図-2(a)が温度データであるが、地震前は397m深層水および687m深層水の温度はそれぞれ9℃および7℃で推移していたものが、地震発生直後からそれぞれ15℃～18℃および13℃～14℃に一旦温度上昇してから、4日間程度は上昇が継続している。8月16日以降は、397m深層水はほぼ地震前の温度に回復したが、687m深層水は8月25日以降も依然として9℃前後で推移している。水深が大きい687m深層水の温度は397m深層水の温度よりも低温でなければならないが、地震後から逆転している。

一方、図-2(b)の濁度データ(HACH社製2100P型濁度計による透過散乱光測定)によれば、地震発生前の濁

表-1 駿河湾深層水取水管の主要諸元

	397m取水管	687m取水管
管材料	鉄線鍍装 硬質ポリエチレン管	鉄線鍍装 硬質ポリエチレン管
管延長	3,323m	7,273m
管内径	200mm	225mm
管外径	240mm	270mm
取水口水深	397m	687m

度は397m深層水および687m深層水は、それぞれ0.2NTU(Nephelometric Turbidity Unit)および0.5NTUで安定的に推移している。しかしながら地震発生直後から7日間は泥水が取水され、濁度データが飽和して測定不能の状態が継続していた。そして計測可能となってからも地震前



図-3 海洋調査船「なつしま」



図-4 無人探査機「ハイパードルフィン」

の計測値に近づきつつも、地震前と比較して濁度が0.5 NTU程度高い状態が継続していることが分かる。

駿河湾地震直後からの687m深層水の温度上昇ならびに高濁度の継続から、687m取水管に何らかの障害が発生したことが推測された。

### 3. 駿河湾地震の震源域調査

#### (1) 調査概要

海洋研究開発機構では、駿河湾地震の震源域調査を実施するために、2009年12月に機構が所有する図-3の海洋調査船「なつしま」(1739t)による2回の調査航海を計画した。1回目の調査航海では「なつしま」に搭載の3000m級無人探査機「ハイパードルフィン」(図-4)による深層水取水管の目視確認、そして2回目の調査航海では「なつしま」に搭載したマルチビーム音響測深機による海底地形データを取得する計画を立てた。

#### (2) 「ハイパードルフィン」による潜航調査

先述の通り、地震直後からの海洋深層水の温度と濁度の変化から687m取水管に障害が発生していることは推察できたので、深層水取水管で発生した障害箇所の特定ならびに実態を把握することを目的として、2009年12月13日～14日にかけて、無人探査機「ハイパードルフィン」による2回の潜航調査を行った。「ハイパードルフィン」は、「なつしま」を母船とする無人探査機で、複数台の水中カメラを搭載しており、スラスタによる推進力で自由に航走しながら目視観察が可能である。「なつしま」の船位を基準とした音響測位(SSBL方式)による「ハイパードルフィン」の海底における航跡ならびに2本の取水管の設置位置を図-5に示す。

12月13日に実施した1回目の潜航(第1066潜航)は、水深200～300m付近を中心に潜航調査を行った。これは687m取水管からの水温から、水深397mより浅い地点で取水管に何らかの障害が発生している可能性が高いと考えたためである。図-5の航跡に示すように、並行する2本

の取水管を横切るように測線を取り航走したが、397m取水管の発見はできたものの、687m取水管の発見には至らず、687m取水管は当初の設置場所から移動したものと推察される。図-6に搜索できた397m取水管の海底での設置状況を示す。外径240mmある取水管の半分程度が埋没している状態で設置されている。また、397m取水管が海底谷地形を横切っている区間では、ブリッジ状態で設置されている区間もあった。

12月14日に実施した2回目の潜航(第1067潜航)は、687m取水管の先端にある取水口やぐらを目指して潜航した。図-5に航跡を示しているが、取水口設置位置の約200m南から取水口やぐらに向かって測線を取り航走した。しかしながら、「ハイパードルフィン」に搭載の障害物探査ソナーにも反応せず、取水口やぐらの発見には至らなかった。測線を西側にずらして再度、687m取水管を横切るように航走したが、取水口付近では687m取水管の発見には至らなかった。その後、西側に向けて航走するうちに図-5の航跡のAの位置で687m取水管を発見することができた。敷設工事の取水管設置位置から約500m南側の位置である。その後、南東方向すなわち沖側に向かって687m取水管を追跡しながら航走を続けた。取水管を発見した付近では、取水管を挟んで泥が南西側だけに堆積しており、途中、取水管の脇に表層堆積物に加えて沈船が残骸となって流出している状況も確認できた(図-7)。また沖側に向かうに従って、取水管は全埋没と露出を繰り返しながら、結局水深782m付近で完全に埋没してしまい、その先の追跡を断念した。図-5のBが追跡を断念した位置で、図-5のA～Bが「ハイパードルフィン」が取水管を発見してからの航跡、すなわち地震で流出した687m取水管の位置となる。ただし図-5のAで取水管を発見してから沖側に航走したので、687m取水管の北西端については現在のところ不明である。「ハイパードルフィン」の潜航調査の結果から、687m取水管は少なくとも2km以上沖側へ押し流されたことが判明した。

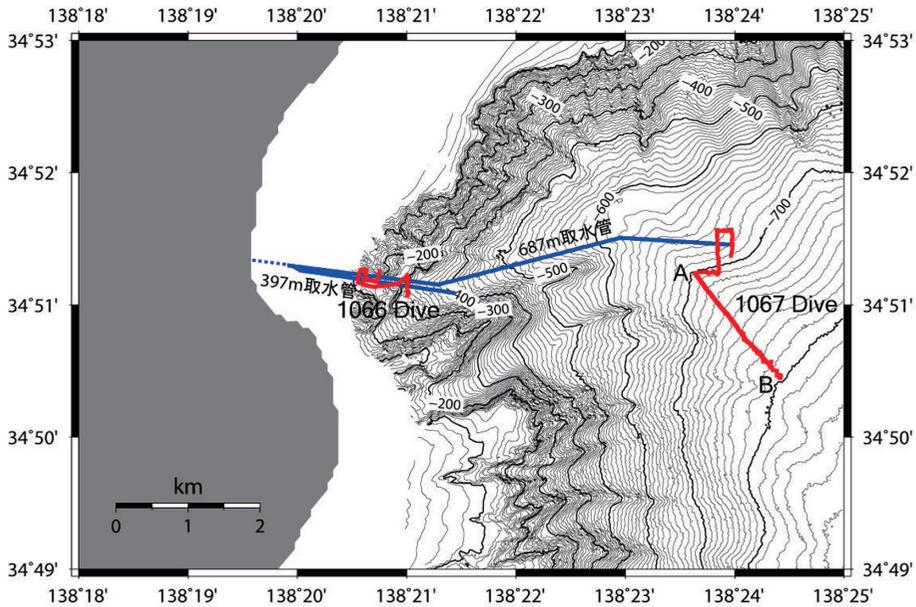


図-5 「ハイパードルフィン」による2回の潜航調査の航跡と深層水取水管の設置位置



図-6 「ハイパードルフィン」第1066潜航で捜索した397m取水管



図-7 「ハイパードルフィン」第1067潜航で捜索した687m取水管と流出した沈船の残骸

### (3) 「なつしま」による海底地形調査

「ハイパードルフィン」の潜航調査から、687m取水管が沖側に流出したことが判明した。その原因を特定するため、12月26日～31日に「なつしま」に搭載されているマルチビーム音響測深機 (SEABAT8160) による海底地形調査を行った。2009年駿河湾地震発生前の2004年と2006年に駿河湾において、「なつしま」に搭載された同一機器による海底地形調査が行われており、これは駿河湾地震の前後の海底地形の比較を可能とする。ただし地震前に取得したマルチビーム音響測深データは、「なつしま」の速力が地震後のものより大きいので、データ解像度が相対的に低いこと、データ取得範囲も完全には一致しないことに留意したい。

今回の調査航海で航走した「なつしま」の航跡、すなわちマルチビーム音響測深データを取得した測線ならびに地震後に取得した海底地形を重ねて図-8に示す。駿河湾の陸側斜面は、扇状に張り出す海脚の先端に海底谷が発達している (大塚, 1982)。そしてその海底谷のひとつに深層水取水管が敷設されている。

「なつしま」による駿河湾地震前後の海底地形調査の測深データの差分をとり、図-8の矩形で囲んだ687m取水管の取水口付近を表示したものが図-9である。図-9には687m取水管の敷設工場の設置位置ならびに「ハイパードルフィン」で判明した駿河湾地震後の687m取水管の位置 (図-9のA～B区間) も示している。

地震前の測深データ精度を考慮して等深線が高密度な

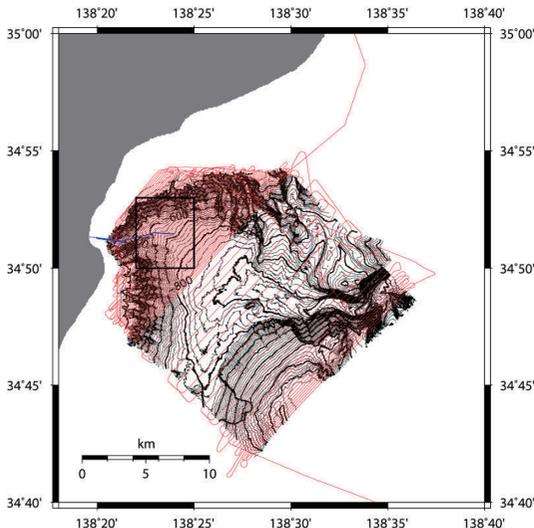


図-8 「なつしま」の航跡ならびにマルチビーム音響測深機で取得した海底地形

海底谷を対象外としたとき、地震前後で687m取水管付近において海底地形の変化が大きい箇所は、図-9内の点線で囲んだ水深600m付近のテラス地形のところである。この付近では地震後には約10mの沈降、そして周辺では3~5mの沈降となっており、地震前より等深線が後退したことから浸食作用を受けたことになる。すなわち、この付近で地震にともない海底地すべりが発生したと推察される。その海底地すべりにともなう乱泥流が南東側の緩い海底谷に沿って流れて、約900m下流で東西方向に敷設されていた687m取水管を押し流したと考えられる。一方687m取水管を見失った付近、すなわち図-9内の実線で囲んだ海底は地震後に地形が隆起している。これは海底地すべりを起源とするタービダイトが堆積したことを示唆している。

#### 4. まとめ

2009年8月11日に駿河湾で発生した地震にともない、震源近傍に設置している深層水取水施設に障害が発生した。障害の実態把握、ならびにその原因を調査するため、2009年12月に2回の調査航海を実施した。今回の調査航海で得られた主要な速報事項は以下の通りである。

- (1) 「ハイパードルフィン」による潜航調査により、駿河湾地震にともない、深層水取水管のうち687m取水管については2km以上沖側に流出したことが判明した。ただし687m取水管の破断箇所の特定には至らなかった。
- (2) 「なつしま」による海底地形調査により、駿河湾地震の前後で687m取水管の北側の水深600m付近における地形変化(浸食)が顕著で、ここで海底地すべりが発

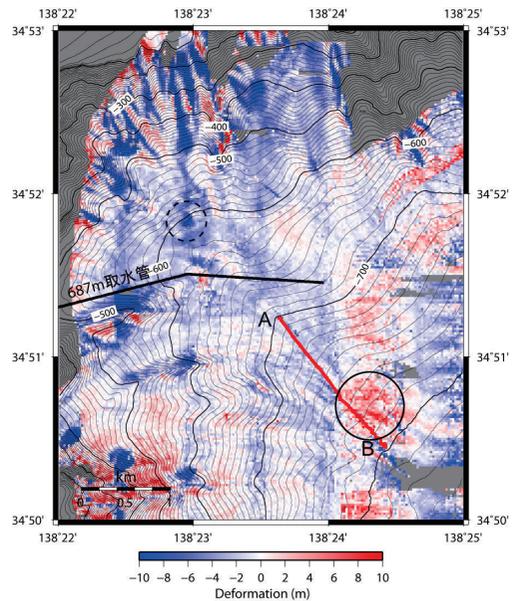


図-9 687m取水管近傍における地震前後の海底地形変化

生した可能性が高いことを突き止めた。687m取水管は沈船を含む堆積物で覆われており、この海底地すべりが687m取水管を流出させた要因と推定できた。

なお駿河湾地震の発生から15時間52分後、震源から約100km南の駿河トラフ内に敷設している海底ケーブルに障害が発生している。震源付近で発生した地すべりにともなう乱泥流が到達した可能性も考えられる。

今回の調査だけでは、駿河湾地震にともない深層水取水施設の被災の全体像は解明されていない。今後も駿河湾地震の震源域の海域調査を継続し、海底地すべり挙動との関係を明らかにすることで、海底ケーブル等の類似の海底インフラ施設のルート設計ならびに被害軽減への貢献が期待される。

**謝辞：**調査航海の実施にあたり、海洋研究開発機構の堀田平理事(当時、海洋工学センター長)には、計画段階で関係機関との調整をしていただいた。また調査航海中には、「なつしま」請藏栄孝ならびに須佐美智嗣の両船長、「ハイパードルフィン」光藤数也運航長、ならびに海洋研究開発機構の古山裕喜氏の協力を賜った。末筆ながら、これらの関係各位に謝意を表す。

#### 参考文献

- 大塚謙一(1982)：駿河湾石花海北堆西斜面の海底地すべり、静岡大学地球科学研究報告, 7, pp. 87-95.  
 気象庁(2009)：特集平成21年8月11日の駿河湾の地震、平成21年8月地震・火山月報(防災編), pp. 42-67.  
 静岡県(2009)：静岡県災害対策本部 地震速報(第4報)。