

2000年鳥取県西部地震の特徴と課題

清野 純史¹Junji KIYONO¹¹ 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻

2000年10月6日、鳥取県西部を震源とするマグニチュード7.3の地震が発生し、鳥取県境港市と日野町で最大震度6強を記録した。震度分布や余震分布⁴から北西-南東走向の長さ約20~30km、幅約10~15kmの左横ずれ断層とされている。境港市の震度6強(計測震度6.0)の揺れは、気象庁の境港市境測候所の記録より算出されたもので、最大加速度は763gal(EW)であった。(社)土木学会災害緊急対応部門では、同日緊急調査団の派遣を決定し、現地被害調査を実施した。ここでは、緊急調査団として現地で収集した資料と、その後の調査・分析によって得られた資料に基づいて、地震および地震動の概要や地盤災害、ライフラインを始めとする土木構造物被害や災害対応の実態と今後の課題について報告するとともに、鳥取県西部の弓ヶ浜半島一帯の3次元FDM解析によって得られた地盤震動特性について述べる。

1. 調査の概要

平成12年10月6日13時30分、鳥取県西部の山間部を震源とするマグニチュード7.3(M_J)の地震が発生し、鳥取県境港市と日野町で震度6強の揺れを記録した。土木学会・地震工学委員会(委員長:片山恒雄・科学技術庁防災科学研究所長)では直ちに被害調査団派遣に関する検討に入り、同日、土木学会災害緊急対応部門と協議の上、鳥取県西部地震被害に関する調査団派遣を決定した。調査期間は10月8日から10日(一部20日から22日)まで、清野純史(団長:京都大学)、磯山龍二(日本技術開発(株))、田地陽一(清水建設(株))、中村晋(日本大学)、橋本隆雄((株)千代田コンサルタント)、濱田政則(早稲田大学)、藤原斉郁(大成建設(株))、宮島昌克(金沢大学)の8名を現地に派遣し、調査を行った。なお、本報告において、ダム関連は小長井一男氏(東京大学生産技術研究所)、山口嘉一氏(建設省土木研究所)、道路・橋梁関連は野崎智文氏(建設省道路局)、松尾修氏(建設省土木研究所)、港湾関連は一井康二氏(運輸省港湾技術研究所)、大楨正紀氏(農林水産省水産工学研究所)、野津厚氏(運輸省港湾技術研究所)、災害対応関連は村上ひとみ氏と瀧本浩一氏(山口大学理工学研究科)にご協力いただいたものを掲載している。

2. 地震および地震動

気象庁の速報¹⁾によると、震源は35.3°N、133.4°E、深

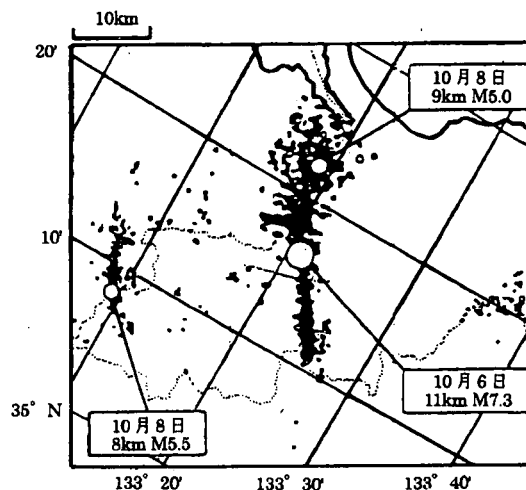


図-1 鳥取県西部の地震活動
(気象庁発表資料⁶⁾一部修正)

さ約10km(図-1)、また、上方修正された気象庁マグニチュードは7.3であるが、モーメントマグニチュード(M_w)は6.6^{2),3)}となっている。震度分布や余震分布⁴から北西-南東走向の長さ約20~30km、幅約10~15kmの左横ずれ断層とされている^{2),5)}。鳥取県では、東部で1943年に死者1000人を数えたM7.2の地震が起こっている。今回

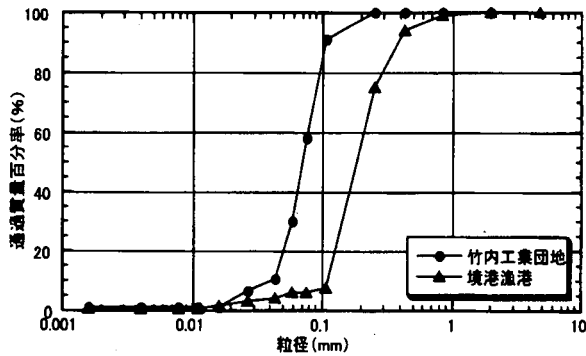


図-2 粒径加積曲線（竹内工業団地及び境港漁港：藤原⁸⁾）

の震源付近では、日野市北西部に位置する鎌倉山付近で、1989年と1990年にM5クラスの地震を含む群発地震が発生しており、また、米子市周辺でも1996年、1997年そして本年7月にM3~5クラスの地震が発生している。

震源周辺には、気象庁をはじめ、科学技術庁防災科学技術研究所のK-Net、KiK-Net、消防庁震度情報ネットワークなどによる地震計・震度計が数多く設置されており、地震発生後の早い時期に地震動に関する有用な情報を数多く提供している。

境港市の震度6強（計測震度6.0）の揺れは、気象庁の境港市境測候所の記録より算出されたもので、最大加速度は763gal(EW)であった。表-1に震源近傍の市町村の震度計で観測された加速度記録のピーク値と計測震度、および震度階級を示す。

表-1 各市町村役場の震度計で観測された最大加速度と計測震度、及びK-Net、KiK-Netの主だった記録

市町村名	最大加速度(gal) 卓越周期(sec)			計測震度	震度階級
	EW	NS	UD		
境港市	213	113	93	5.6	6弱
	1.71	1.71	0.73		
米子市	383	314	307	5.8	6弱
	1.14	0.41	0.12		
日野町	1482	675	1407	6.3	6強
	0.45	0.44	0.10		
西伯町	802	607	1077	5.9	6弱
	0.49	0.31	0.07		
会見町	952	865	756	5.9	6弱
	0.42	0.14	0.06		
溝口町	816	522	433	5.7	6弱
	0.35	0.37	0.08		
岸本町	593	445	541	5.6	6弱
	0.24	0.73	0.04		
淀江町	342	333	148	5.6	6弱
	0.85	0.76	0.68		
日吉津村	326	258	145	5.5	6弱
	0.79	0.76	0.35		
日野	753	927	776	TTRH02	
伯太	606	719	631	SMNH01	
江府	573	726	404	TTR007	
日南	596	628	289	TTR009	

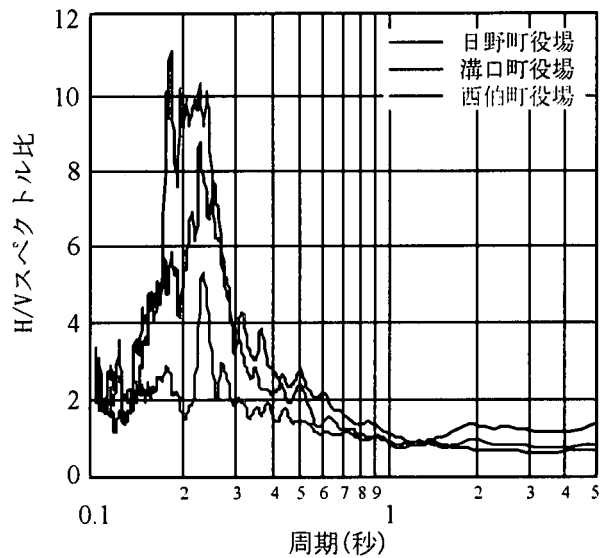


図-3 震源近傍地域のH/Vスペクトル(中村⁸⁾)

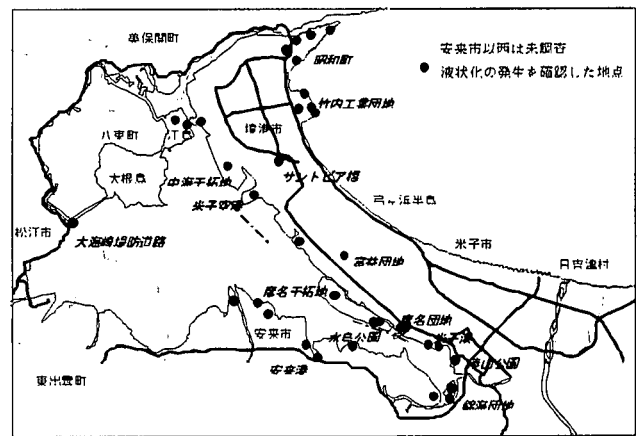


図-4 液状化発生地点(田地⁸⁾)

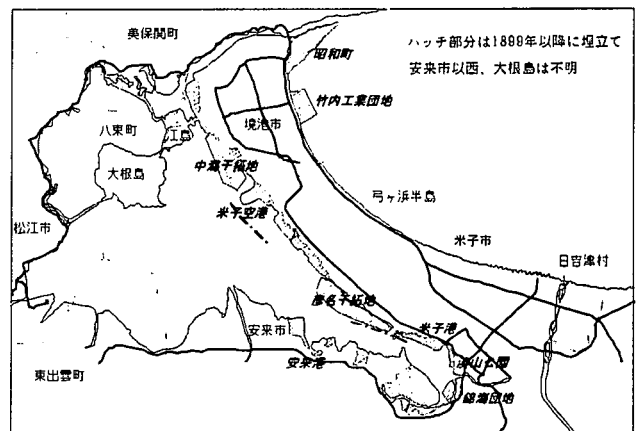


図-5 中海臨海地帯の埋立地(田地⁸⁾)

3. 地質・地盤条件

境港市から米子市間および安来市周辺は主に沖積砂層からなり、米子市西部から安来市東部にかけての一部で第三紀の火成岩で構成されている⁷⁾。今回の調査の範囲では、液状化被害の報告されている竹内工業団地(境港市)の噴砂で全般的に黒く細粒分を多く含む特徴が見られた。竹内工業団地および護岸被害を受けた境港漁港で採取された噴砂の粒径加積曲線を図-2⁸⁾に示す。竹内工業団地にお



写真-1 地震後に撮影した堺港市竹内工業団地の航空写真（濱田⁸⁾：撮影日 10/7)

る噴砂の細粒分が多いことがわかる。

震源に近い日野川上流部の山間部は、主に中世代の花崗岩からなり、日野町の一部で泥質片岩との変成岩が見られる。特徴としては、新鮮岩であっても節理の発達が著しく、剝離型落石が各地で見られることが挙げられる。

4. 地盤震動

震源近傍で比較的硬質な地盤上にある日野町、溝口町、西伯町の役場における常時微動のH/Vスペクトルを図-3⁹⁾に示す。いずれの地点においても0.2秒前後に卓越周期が認められる。また、会見町、日吉津村では0.3-0.4秒、岸本町、淀江町、米子市k-net site及び堺港市では0.7-1.5秒に卓越周期が認められた。

5. 各種被害

(1) 液状化被害

液状化の被害は、震源から30km以内に位置する堺港市、米子市、安来市、松江市の中海臨海地帯に集中した。

図-4⁸⁾は、現地踏査による噴砂や地割れなどの確認および新聞報道などにより判明した液状化の発生地点を示したものである。堺港市から米子市に至る弓ヶ浜半島は、日野川から流れる土砂が堆積してできた全長18km、幅4kmの砂州からなり⁹⁾¹⁰⁾、農業用地、工業用地拡充を目的として図-5⁸⁾に示すように埋立て、及び干拓が行われている。図より美保湾側は大半が自然海浜であるのに対し、中海側は造成地が多いことがうかがえる。図-4、図-5を比較すると、今回の地震において液状化が発生した地点は、堺港市の竹内工業団地、昭和町、米子市の米子港付近の埋立地に集中している。竹内工業団地や昭和町では、広範囲に液状化が発生し(写真-1)、建物周辺地盤の沈下、岸壁のはらみだしやエプロンの沈下・亀裂、側方流動による軽量の建物の不同沈下や移動、上水道などのパイプラインの損壊が見られた。また、米子市の旗ヶ崎(米子港)、彦名団地、錦海団地、湊山公園でも、建物周辺地盤の沈下、護岸のは

らみだしや護岸背後地盤に亀裂が見られた。

米子空港では、1996年(平成8年)に滑走路を中海側に500m延長しており、今回の地震では、その滑走路において横断方向に2本の幅1cm程度の亀裂と1~2cmの段差が生じたことである。また、彦名干拓地では、液状化の噴砂により農作物に被害が生じ、その被害額は約8,000万円にも及んだ。

(2) 斜面崩壊・土砂災害

日野町では、下黒坂の国道180号など計17箇所が土砂崩れで通行止めになった。また、JR西日本では、国道180号線と並行しているJR伯備線の線路が土砂崩壊によって寸断された。また、根妻トンネル(175m)前後では、約500mの間の4箇所が土砂崩壊の被害を受けた。国道180号線は、黒坂~根雨間が落石、土砂崩壊により通行止めになっている。さらに、8日の朝から小雨が降り始め、日野町役場から北東に2kmの貝原では、余震で新たに山の沢部から長さ約50m、幅5mにわたって土石流が発生し、国道181号線と平行に走るJR伯備線の線路復旧作業現場を襲った。地震の影響で地盤が緩んだところでは、雨による新たな土砂災害の発生が懸念される。西伯町では、法勝寺中学校の高台にある軟式野球場に斜面崩壊の深さ2~3mもある亀裂が生じた(写真-2)。盛土のすべり破壊と考えられる。溝口町宇代の鬼ツ子ランド脇の県道付近で山崩れが発生し、県道脇の避難所に停車していた軽自動車は落石や土砂に埋もれた。



写真-2 西伯町法勝寺中学校軟式野球場のテンションクラック

(3) 道路・橋梁被害

橋梁については構造物そのものの被害は少なく、落橋が生じたのは町道赤谷線原田橋(スパン7m単径間の斜橋)一箇所であり、その他はほとんどが橋台付近での地盤の変状による段差の発生であった。山間部では地震動による土砂災害が発生し、米子自動車道で一箇所被災したほか、県管理の一般国道180号、181号及びその他の県道において法面崩壊、落石等の被害が見られた。ただし、これらの箇所については被害発見後通行が制限されたものの、幹線道路については短時間である程度通行機能が確保された(補助国道以上の道路において10月17日以降通行止め箇所なし)。今後は、各被災箇所において本格的な復旧対策が展開される見込みである。

(4) ライフライン被害

地震直後には、鳥取県西部の西伯町、会見町、日野町など合わせておよそ2,800世帯で断水した。堺港市の竹内

工業団地内の工業用水配水管は液状化によって大きな被害を受けた。液状化により承水路の護岸が移動し、水路幅が減少したことにより変形している。また、地盤も沈下している。

都市ガスは、米子ガスが米子市の約14,600世帯に供給している。製造施設、2基の球形ホルダー、有水式ホルダーには被害がなかった。ガス漏れが43件発生したが、ほとんどが灯内管であり、本支管の被害は1ないし2箇所程度である。下水道の被害として、10月10日現在で鳥取県土木部都市計画課に12件の被害が報告されている。被害は米子市、境港市、日野町、溝口町、淀江町、日吉津村で発生しており、主に管渠の破損とマンホールの隆起が報告されている。電話については、溝口町内で一部不通になったほか、安否を確認する電話が殺到して輻輳したため、NTT西日本鳥取支店では午後2時半に災害用伝言ダイヤルを設けるなどして対応した。電力については、地震直後に停電したがすぐに復旧した。その後の余震によっても電柱から各戸への引き込み線が切断されて電気の供給を受けることのできない世帯が出たが順次復旧し、大きな混乱はなかった。

(5) ダム被害

鳥取県西部から北に向かって流れる法勝寺川（流路延長25km、流域面積121.7km²）をせき止めて造られた賀祥ダムでは、監査廊（EL87.0m）でNS 528.5gal、EW 531.1ga、UD485.2gal、天端（EL124.4m：エレベータシャフト内）でNS 2051.0gal、EW 1406.2gal、UD 884.2galという大きな加速度を記録した。このダムは多目的ダムで、堤高46.4m、堤頂長174.0m、堤体積86,600m³の重力式コンクリートダムである。余震域のほぼ直上に存在している。

地震計がEL87.0mの監査廊、およびエレベータシャフト内EL124.4m（天端標高）にあり、これまでのダムでの記録としては上述のような最大級の加速度が得られている（基盤標高EL.78.0m）。当時の貯水池水位は洪水期制限水位のEL114.6mより少し低いEL.112.2mであった。天端にある副ゲート機械室の壁面にわずかな斜めクラックが認められ、窓が破損した。また管理事務所玄関前の駐車場が10cmほど沈下した他は、変状は認められない。ダムの安全性および機能にも異常は報告されていない。

(6) 港湾被害

外港昭和南地区には重力式岸壁が3バースあり、その前面水深は西から順に-7.5m、-10m、-13mとなっている。構造形式は-7.5m岸壁の一部を除き置換砂・捨石マウンド及びケーソンによる構造となっている。最も西に位置する-7.5m岸壁は境港で唯一の耐震強化岸壁であり、その設計震度は0.23と、他の係留施設（設計震度0.1~0.15）と比較して高い設計震度で設計されていた。-10m岸壁については、背後地盤においてロードコンパクションによる地盤改良が実施されていた。これら3施設ともケーソン背後の地盤が沈下し、沈下しないケーソン部分との間に段差が生じた。このうち東の-13m岸壁で生じた段差がもっとも顕著であり、エプロンとヤードの間に最大で50cm程度の段差が生じた。3バースとも法線の出入りが軽微であったことから船舶の係留そのものに支障はなかった。

主要港湾施設以外では、昭和北地区の漁港地区-6.0m岸壁（通称：かに棧橋）に大きな被害が生じた。液状化が発生し、上屋の柱基部周辺に最大0.6m程度の陥没が発生すると同時に、岸壁法線は湾曲しながら最大1.3m程度はらみだしていた。また、ポンプ浚渫により埋め立てられた竹内地区では大規模な液状化が発生し、埋立地内を流れる水

路で水路幅が2m程度縮小すると同時に、河床が最大1m程度盛り上がっていた。竹内地区の南側にあるマリナーでは、ヨット係留用の小型の杭式棧橋3基が倒壊した。

(7) 災害対応

自治省消防庁の10月18日20時現在の人的被害は、死者はなく、負傷者は鳥取県97人、島根県10人、岡山県18人、広島県3人、香川県2人、兵庫県1人の合わせて131人である。震度に対する負傷者発生率は、1993年釧路沖地震や1994年北海道東方沖地震など、これまでの地震に比べて小さかった。この背景としては、鳥取県の木造住宅の耐震性や、地震発生の季節や時刻との関連が考えられる。

負傷者の特徴としては転倒による骨折疑いなどが多く、また年齢・性別では、高齢の女性が多かった。これは、日野町、江府町、溝口町、西伯町、会見町など65歳以上の人口構成比が25~30%にも上る（平成11年3月31日現在の住民基本台帳による）ことと無関係ではない。

高齢社会での災害では、被災後の避難、安否確認、救急救助、後片付け、復旧に特別の配慮が必要である。また、どのような被害が発生し、それに対してどのような災害情報伝達と緊急対策がとれたのかを検討しておくことが今後の防災対策・体制を改善するために重要である。

6. 鳥取県西部の震動解析

(1) 基盤構造のモデル化

鳥取県西部には中海や、砂洲としての弓ヶ浜半島が存在し、複雑な地形となっている。この弓ヶ浜半島では、鳥取県西部地震の際に住家被害が偏在したり、計測震度が局所的に大きく違っていたりする現象が顕著に現れた。これはローカルな地盤条件もさることながら、深い基盤の形状もその原因であるものと推測できる。このような地震動伝播を解明するために、3次元有限差分法を用いて地盤震動を評価する方法が数多く行われており、実際の地震波形記録との比較も行われている。

このように、数値解析によって地震動の地盤内増幅問題を考える場合、深部地下構造の解明は不可欠である。しかしながら、主要都市圏（関東地方、関西地方など）以外では地盤モデル作成の資料となる地下構造に関する調査が進んでおらず、地盤探査結果が極めて少ないために地盤モデルの作成は困難な状況にある。この状況を打破するために、地盤探査結果の乏しい地域の地盤をモデル化する場合、全国的に測定されている重力異常のデータを基にする方法が提案されている¹¹⁾。

ここでは、まずこの手法を用いて重力異常、微動探査結果から弓ヶ浜半島一帯の基盤構造モデルを作成する。この基盤構造モデルを2000年10月6日発生した鳥取県西部地震に適用し、3次元有限差分法によって地震波動の計算を行うことにより、いくつかの観測波形との比較を行った。それらの結果から、重力異常を基にした地盤モデルを用いた地震動評価の有効性について検討した。

これまでの一般的な基盤構造モデルの作成方法は、反射法探査、深層ボーリングなどの直接的に地盤構造がわかる探査結果がモデル化の骨格として用いられ、さらに微動探査や重力異常が補助的な手段として用いられている。しかしながら、関東地方や神戸、大阪、京都などの関西地方の主要な都市圏以外ではこれらの地盤探査結果が少なく、地盤モデルの作成が困難なものとなっている。上記の作成方法では補助的にしか用いられていない重力異常は、全国的に高密度に測定されており、直接的な地盤データが少ない

地域では重力異常が有用な情報である。このような地域では、重力異常を主とし、限られた屈折法などの結果を拘束条件として用いるという地盤のモデル化¹¹⁾が有効であると考えられる。

弓ヶ浜半島一帯も地盤探査結果の乏しい地域であるため、ここでは重力異常を主要データとし、米子市街地を南西-北東に縦断する測線で実施された微動移動観測から推定される基盤深さを拘束条件として地盤のモデル化を図った。

吉村ら¹¹⁾によると、測定された重力値には、正規重力、地球潮汐、大気引力、標高による影響、地形による影響が含まれるため、まずこの重力値から正規重力、地球潮汐、大気引力、標高による影響を取り除いて、海水基準面における重力異常に補正する。これがフリーエア異常であり、ここから海水基準面と測定点との間にある岩石の重力を平らな岩盤を仮定してその影響を取り除いたものが単純ブーゲ異常である。単純ブーゲ異常からさらに地形による影響を取り除いたものがブーゲ異常¹²⁾と呼ばれるものである。ブーゲ異常には地殻の厚さやプレート形状などの基盤面より深い地盤構造の影響が含まれているとされており、この広域的重力異常¹³⁾は、堆積層に覆われた基盤構造による局所的重力異常を求める際に取り除かなければならない。

局所的重力異常 G_L は、ブーゲ異常 G_B 、広域重力異常 G_R を用いて次式によって求められる¹¹⁾。

$$G_L = G_B - G_R \quad [1]$$

図-6 はこの式によって得られた局所的重力異常である。ただし、ここでは広域的重力異常は相対的な値であるので、局所的重力異常が対象領域において正の値をとるように 40mgal 加えている。

局所的重力異常 G_L と基盤深度 Z との間に次式のような線形関係を仮定した¹¹⁾。

$$G_L = AZ + B \quad [2]$$

ここで、係数 A 、 B は基盤深度が明らかな点のデータを基に、最小二乗法で決定する。微動移動探査結果より推定された基盤深度¹⁴⁾と半島中央部の最深部で基盤深さが 700m であること¹⁵⁾を用いてサンプル点を得た。最小二乗法によって回帰された係数 A 、 B は、それぞれ -1.477×10^{-2} および 60.98 であった。

以上より得られた基盤深度を図-7 に示す。

(2) 地盤震動解析

解析は、時間に関して 2 次精度、空間に関して 4 次精度の staggered grid による 3 次元有限差分法¹⁶⁾で行うこととする。図-8 に本解析の計算領域を示す。ただし、図中原点は北緯 35 度、東経 133 度の地点より北に 14km、東に 10km ずれた地点(北緯 35 度 5 分 24.2 秒、東経 133 度 9 分 12.8 秒)である。

本解析では Nonuniform-Grid¹⁷⁾ による差分計算を行うこととし、北を x 方向、東を y 方向、鉛直下方を z 方向として、計算領域を $360 \times 310 \times 85$ の格子点で離散化した。格子間隔は 100m と 200m の nonuniform grid を用いている。

鳥取西部の速度構造は表-2 のような基盤層と堆積層からなる 2 層構造とし、地表面は水平であると仮定する。図中のコンター間隔は 0.2km であり、基盤深度が 0m 以上、100m 以下の地点は地表面の 1 格子点のみ堆積層の物理定数を与えている。

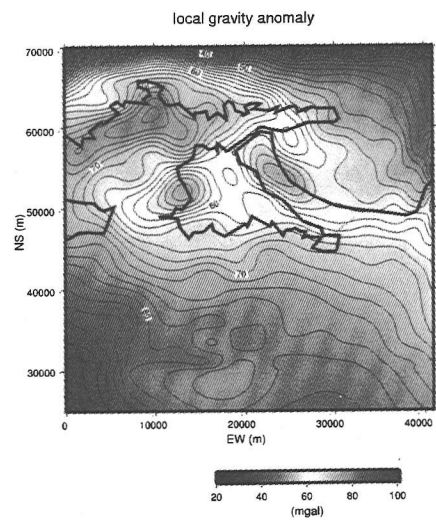


図-6 鳥取県西部の局所重力異常

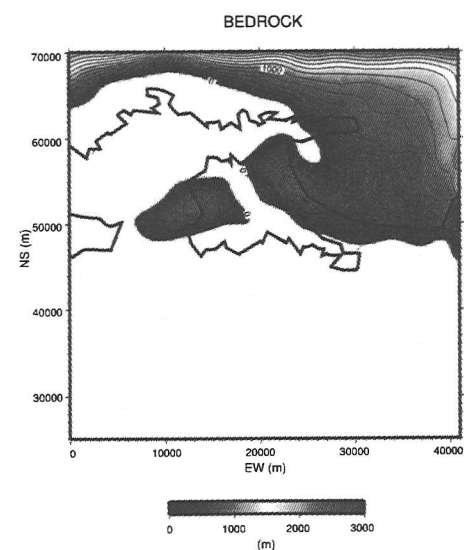


図-7 推定された鳥取県西部の基盤深度

表-2 速度構造モデル

	基盤	堆積層
P 波速度 (m/sec)	4500	1800
S 波速度 (m/sec)	2500	500
密度 (ton/m ³)	2.5	2.0
Q 値	500	100

表-3 断層パラメータ

走向	152°
傾斜角	86°
すべり角	7°
立ち上がり時間	2.6sec
地震モーメント	1.0×10^{26} dyn*cm
破壊伝播速度	2300m/sec

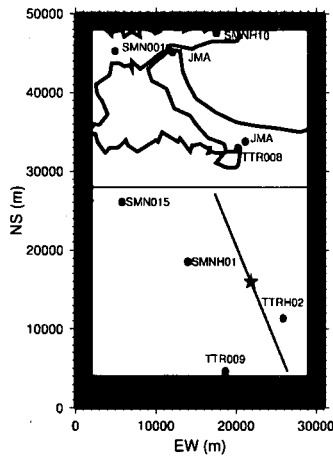


図-8 解析対象領域と観測点の位置

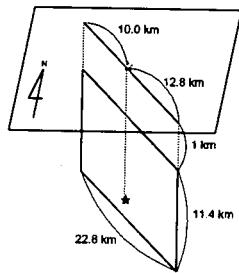


図-9 断層のサイズと震源の位置

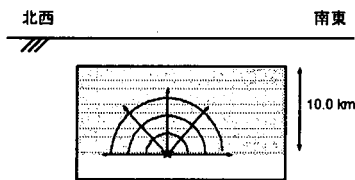


図-10 断層モデルと破壊伝播

鳥取西部地震本震の震源位置は北緯 35 度 16 分 12 秒，東経 133 度 21 分 0 秒，深さ約 11km の地点(図-9 において★印で示す地点)である。本解析に用いた震源パラメータを表-3 に示す。

震源断層としては，断層幅 W ，断層長さ L の矩形断層において矩形断層の 1 点で生じた相対変位が円状に破壊伝播速度 v_r で伝播する破壊を考える。

地震モーメント M_0 は，モーメントマグニチュード M_w と地震モーメント M_0 の関係式¹⁸⁾ を用いて， $M_w = 6.6$ より $M_0 = 1.00 \times 10^{26}$ dyne cm と設定した。また，震源時間関数 $f_s(t)$ は，その時間に関する一階微分がベル型となる関数を用いた。ここで立ち上がり時間 T_0 は Geller¹⁹⁾ の関係式より $T_0 = 2.6$ sec としている。ただし，上式において S は断層面積であり， M_0 から計算される断層長さ L とその $1/2$ の断層幅 W から算出した。 v_s は S 波速度である。

差分法による計算では，断層面上の点震源の破壊開始時刻を破壊伝播速度にしたがって，破壊開始点(図-9 の★印)から円状に変化させることでこの破壊伝播を表現する。強震動記録から推定されたすべり分布²⁰⁾によると破壊開始点よりも浅い部分に顕著なすべりがみられる。このことから本解析では，破壊開始点よりも浅い部分(図-10 の斜部分)のみをモデル化した。

点震源は差分グリッドに一致する 5150 個の点を配置し，各点震源に地震モーメント $M_0 = 1.942 \times 10^{22}$ dyne cm を配分した。これは先に求めた地震モーメント $M_0 = 1.000 \times 10^{26}$ dyne*cm を点震源の個数 5150 で割った値である。また，計算時間間隔は $\Delta t = 0.01$ sec とし，カットオフ周波数については $f_c = 1.0$ Hz とした。

(3) 解析結果

地表面の観測点として図-8 に示す K-net, Kik-net, JMA の合わせて 9 ヶ所の観測点を取り，この場所における速度波形を計算し，実際の観測波形との比較を行った。

日野 (TTRH02)，日南 (TTR009)，広瀬 (SMNH15)，美保関 (SMNH10)，米子 (JMA 米子)，米子 (TTR008) の 6 つの観測点における速度波形を図-11 (a) ~ (f) に示す。上から順に NS 成分，EW 成分，UD 成分である。ただし，これらの速度波形はローパスフィルタにより，1.0 Hz 以上の高周波を除去した後の波形である。

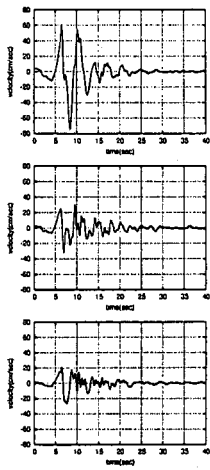
全体的に観測記録と解析結果の振幅に大きな相違はみられず，波形の特徴は比較的よく捉えられている。各観測点について考察すると，震源の南東にあり，震源に最も近い観測点日野 (TTRH02: 図-11 (a)) では他の観測点より比較的大きな振幅を持っていることは共通しているものの，解析結果の方が観測記録よりも少し小さな振幅となっている。本解析では震源モデルにアスペリティーは考慮していないが，実際には震源から南東に大きなすべりがみられており，このアスペリティーの存在による影響と考えられる。また，堆積層の影響が小さいと考えられる観測点日南 (TTR009: 図-11 (b), (c)) はかなりよく似た波形になっている。弓ヶ浜半島以北の観測点美保関 (SMNH10: 図-11 (d)) では，比較的大きな後続波が観測されているが，解析でもこの後続波がよく捉えられているといえるだろう。隣接した 2 つの観測点 JMA 米子 (図-11 (e))，K-NET 米子 (TTR008: 図-11 (f)) は観測記録によると K-NET 米子の振幅は JMA 米子の約 2 倍にもなっているが，解析結果には大きな差はない。これらの観測点付近から堆積層が深くなっており，本研究で用いた地盤モデルではこの基盤構造を捉えられていないことも原因の 1 つであるものと思われる。

また，図-12 (a), (b) に，それぞれ NS 成分，EW 成分の水平 2 成分地表面速度の最大値を示す。

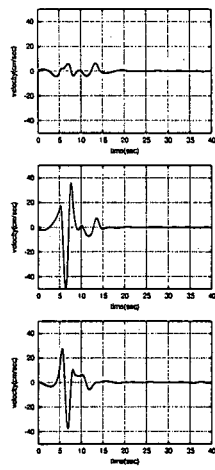
EW 成分には弓ヶ浜半島の基盤構造の深い部分にも振幅の大きな部分が見られるが，注目すべきは NS 成分，EW 成分ともにそれよりも北部にも振幅の大きな地域が現れていることである。鳥取県西部地震においては，境水道南岸に沿って被害集中地帯が認められた(図-13)ことから²¹⁾，本シミュレーションはこのような現象解明の一助となり得る結果を提示しているものと考えられる。

7. まとめと今後の課題

震源から 30km 以内に位置する境港市，米子市，安来市，松江市の中海臨海地帯に液状化の被害が集中した。彦名干拓地における農作物の被害，彦名団地，富益団地における住宅被害，竹内工業団地における埋設管路被害などが顕著だった。

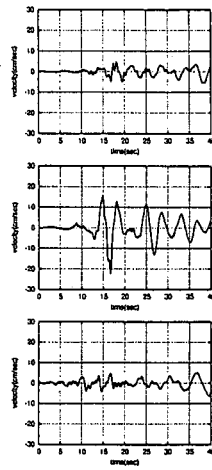


Observation

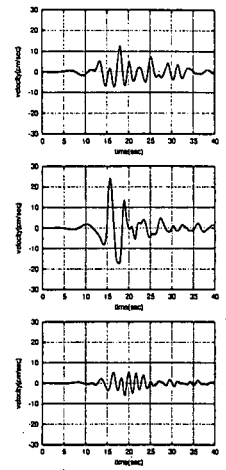


Simulation

(a) 日野 (TTRH02)

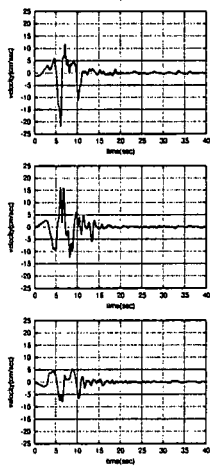


Observation

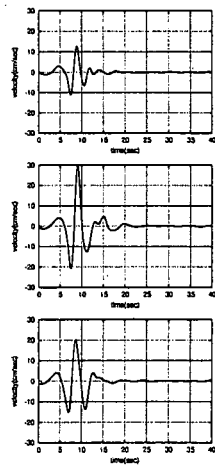


Simulation

(d) 美保関 (SMNH19)

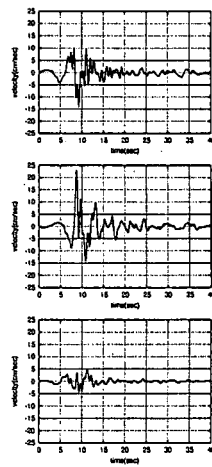


Observation

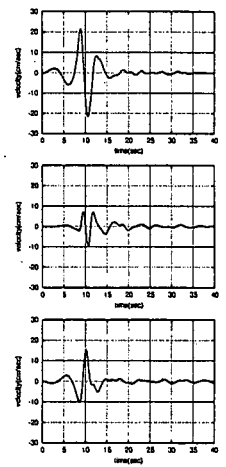


Simulation

(b) 日南 (TTR009)

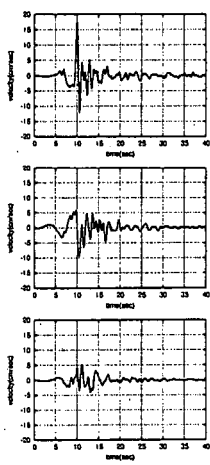


Observation

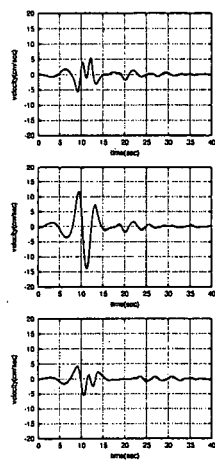


Simulation

(e) 米子 (JMA)

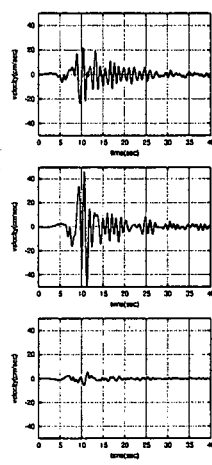


Observation

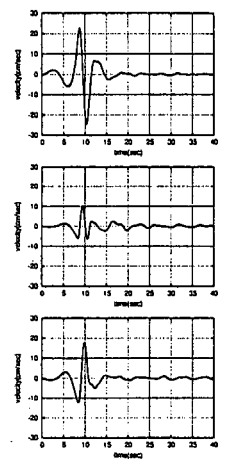


Simulation

(c) 広瀬 (SMN015)



Observation



Simulation

(f) 米子 (TTR008)

図-11 観測波形とシミュレーション波形の比較(各図とも上から NS, EW, UD 成分)

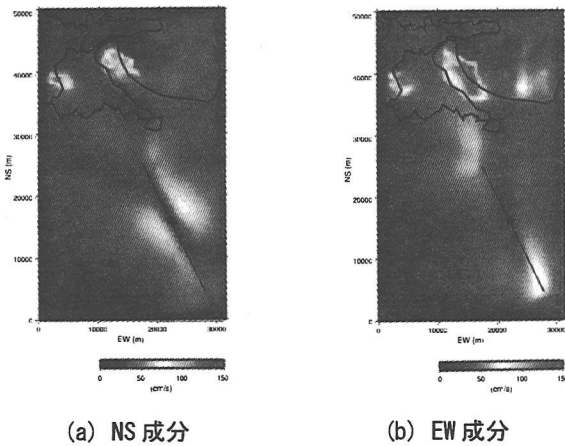


図-12 地表面速度の最大値

上水道関連として、阪神・淡路大震災を契機に締結された米子市と山口県の防府市、岩国市、宇部市、光市、広島県大竹市との広域応援協定が地震直後から有効に機能したことが挙げられる。

余震域のほぼ直上に位置している賀祥ダムでは、これまでのダムでの記録としては最大級の加速度が得られたが、ダムの安全性および機能に異常はなかった。

今回の地震では幸い死者が発生せず、震度に対する負傷率も従来の地震より低かった。しかし、十分可能性の高かった別のシナリオを想定してみることも今後必要である。

境港市の測候所と市役所・港湾における記録のように、比較的狭い範囲で観測された加速度値に大きな違いがあった。この原因を探るために、重力異常を基に作成した鳥取県西部の弓ヶ浜半島一帯の基盤構造モデルを用いて、鳥取県西部地震の際のやや長周期波動のシミュレーションを行った。その結果、観測波形の特徴をほぼ捉えることができた。また、地表面速度の最大値の分布には、境水道南岸の地域などの実際の被害が大きかった地域との整合性が見られた。今後は、より実際に近い震源特性を考慮するために断層面上のアスペリティーを導入すること、また周期特性と住家被害との関係の詳細に見極めた上で、深い基盤形状に起因する速度の空間分布と被害の関係を検討することが課題である。

謝辞

本解析では気象庁及び防災科学研究所の K-NET, KIK-NET の記録を使わせて頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 気象庁：平成 12 年(2000 年)鳥取県西部地震について、記者会見資料，平成 12 年 10 月 6 日 17 時 50 分発表。
- 2) 菊地ら：EIC 地震学ノート No.93s Oct. 6, '00 東大震研情報センター，2000.10.7.
http://kea.eri.u-tokyo.ac.jp/EIC/EIC_News/001006.html
- 3) 建設省国土地理院：断層モデルの概念図，平成 12 年 10 月 7 日。(http://www.gsi-mc.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2000/1007-2.htm)
- 4) 京都大学防災研究所地震予知研究センター：稠密余震観測(全国大学合同地震観測) http://www2.rciep.dpri.kyoto-u.ac.jp/~sato/tottori/index_j.html



図-13 弓ヶ浜半島の主な被害集中地域²¹⁾

- 5) 関口春子・岩田知孝：K-net, KiK-net 地震記録を用いた断層破壊過程の推定，京都大学防災研究所地震災害研究部門 HP，<http://sms.dpri.kyoto-u.ac.jp/iwata/ttr.source.html>
- 6) 気象庁：平成 12 年(2000 年)鳥取県西部地震の余震活動について，報道発表資料，平成 12 年 10 月 16 日 18 時 00 分発表
- 7) 中国地方土木地質図編纂委員会：中国地方土木地質図，1984
- 8) (社)土木学会鳥取県西部地震被害調査調査団：2000 年鳥取県西部地震被害調査報告，<http://jsce.or.jp/report/index.html>
- 9) 中海臨海地帯の地盤(都市地盤調査報告書 第 15 巻)，大蔵省印刷局，1967.3
- 10) 日本図誌大系 中国，朝倉書店，1975.5
- 11) 吉村智昭・前田寿朗：重力異常を用いた 3 次元地盤モデルの構築と地震波伝播シミュレーション，日本建築学会構造系論文集，533，pp.75-82，2000.
- 12) 河野芳輝・古瀬慶博：100 万分の 1 日本列島重力異常図，東京大学出版会，1989.
- 13) 領木邦浩：西南日本の 3 次元深部構造と広域重力異常，地震，52，pp.51-63，1999.
- 14) 日比野浩・新井洋・久保哲夫：鳥取県西部地震における K-net 米子と米子測候所の地盤応答特性(その 2)，地盤工学研究発表会，pp.2331-2332，2001.
- 15) 盛川仁・吉川大智・赤松純平・西田良平・野口竜也：鳥取西部地震の余震記録に基づく弓ヶ浜半島の基盤構造の推定，第 26 回地震工学研究発表会講演論文集，pp.353-356，2001.
- 16) Robert W. Graves: Simulating Seismic Wave Propagation in 3D Elastic Media Using Staggered-Grid Finite Differences, Bull. Seism. Soc. Am., 86, pp.1091-1106, 1996.
- 17) Arben Pitarka: 3D Elastic Finite-Difference Modeling of Seismic Motion Using Staggerd Grid with Nonuniform Spacing, Bull. Seism. Soc. Am., 89, pp.54-68, 1999.
- 18) Hanks, T. C. and H. Kanamori: A moment magnitude scale, Geophysics, 84, pp.2348-2350, 1979.
- 19) Geller, R. J.: Scaling relation for earthquake source parameter and magnitudes, Bull. Seism. Soc. Am. 66, pp.1501-1523, 1976.
- 20) 岩田知孝・関口春子：2000 年鳥取県西部地震の震源断層の実体，SEISMO, pp.5-7, 2001.
- 21) 小山真紀・太田裕・西田良平・清野純史：2000 年鳥取県西部地震における境港市高密度アンケート調査，東濃地震科学研究所報告，Seq. No. 9, pp.41-pp.71, 2002.