

## 2. 地震荷重小委員会の活動経過と成果

### 2.1 地震荷重小委員会の活動経過

地震荷重小委員会は平成4年6月の土木学会耐震工学委員会での設置が承認され、阪神・淡路大震災を挟んで、約5年にわたって活動した。その間、29回にわたる研究会方式の委員会、地震荷重の課題を集中討議するためのワークショップ、兵庫県南部地震による観測地震動の振動台による体験会などの活動を行った。また、随時幹事会を開催して、活動方針の検討を行った。この章では、地震荷重小委員会におけるこれらの活動の経過とそこから得られた成果の概要を説明する。小委員会の成果の詳細については、以下に続く各章を参照されたい。

地震荷重小委員会が発足した1992年当時の状況は、土木施設の耐震設計では、特別な構造物を除いて、震度法が設計法の主流を占めていた。震度法における設計震度は、関東地震直後に建築物に対して制定されその後土木構造物に普及していった基本震度  $k=0.2$  を基準値とし、これを構造特性や地盤条件、過去の震害経験によって増減するという考え方が踏襲されてきた。この方法は、過去の経験を活かす意味はあるが、未知の外力、特に震源断層近傍の地震動に対する有効性に対しては多くの不明の要素をはらんでいた。

耐震工学の進歩は、極限状態における構造物の耐震性能は力による抵抗に加えて塑性的な変形によるエネルギー消費に依存するところが大きであることを明らかにしてきた。この考えは、建築物の耐震設計では保有耐力照査として、1981年以来広く取り入れられたのに対し、土木構造物では、道路橋示方書耐震設計編の一部で1980年に取り入れられ、1992年に保有耐力照査の形に改訂されるという部分的な成果にとどまっていた。土木構造物は構造形式が多様であり、特に土構造物において変形性能の問題は困難な課題であることにもその理由が求められるが、それは決してこうした問題をなおざりにしてよいことを意味しないことも明らかであった。

一方、直下地震による震源断層近傍の地震動により発生する地震荷重が震度法で想定されるレベルより相当大きなものとなるであろうことは海外における強震観測の事例や、我が国の強震観測開始以前に発生した福井地震(1948)や三河地震(1945)の被害経験から一部の研究者・技術者の間では認識されていたが、その定量的検討を行うことやそれを現実の設計に反映するという構想は、必ずしも大きな流れにはなっていなかった。

このような状況のもとで、地震荷重小委員会は、構造物の設計法と密接に関係する地震荷重の問題を包括的に討議し、今後の方向への提言を行うことを目的として発足した。上に述べたような問題認識から、実際の活動では、以下のような4つの分科会を構成した。

- 第1分科会—構造物設計法における地震荷重の考え方の整理
- 第2分科会—極限地震動の評価
- 第3分科会—今後の耐震設計における地震荷重設定の方法論
- 第4分科会—地震時緊急対応における地震荷重

平成4年9月から平成6年12月までに14回の委員会を開き、各分科会持ち回りで必要な話題提供を行って、具体的問題点の整理を行った。その間、我が国の地震活動がにわかに活発になり、平成5年初頭から平成6年末にかけて、釧路沖地震、能登半島沖地震、北海道南西沖地震、北海道東方沖地震、三陸はるか沖地震と、相次いで被害地震が発生した。また、米国でもノースリッジ地震が発生し、本小委員会の主題に係わる多くの検討課題を提起した。これらの地震被害の実態の検証と同時進行の形で小委員会の活動は続けられ、平成7年度には最終報告をまとめる方針を決定した矢先に、平成7年1月17日の兵庫県南部地震による阪神・淡路大震災という緊急事態を迎えた。

震災発生直後は、小委員会のメンバーはいずれもそれぞれが所属する組織における緊急対応に忙殺されたが、震災後約2ヶ月、小委員会の活動を再開した。そこで改めて活動方針を検討し、まず阪神・淡路大震災に係わる地震荷重の問題を徹底的に議論することを行うこととした。それは、小委員会の発足から検討してきた課題を、阪神・淡路大震災という事態を踏まえて検証することを意味した。その結果、小委員会の活動期間は当初の計画より約2年延長される結果となり、またその活動内容も当初計画より多岐にわたることとなった。

まず、平成7年4月から平成8年11月まで、12回の委員会において、兵庫県南部地震の特性とそれが与えた工学的影響を検証した。その内容は、以下のように多方面にわたっており、自然現象としての地震動に加え、各種構造物の被害状況をふまえ、作用した地震荷重の性質に関する議論に重点を置いた。

- ①地震・地震動、②港湾施設の被害、③液状化、④地下鉄、⑤橋梁・高架橋、⑥貯槽、⑦埋設管

これらの討論と並行して、小委員会としてのまとめの方針について、拡大幹事会を開いて再検討を行った。その結果、小委員会の当初に設定した分科会構成は、兵庫県南部地震が提起した課題を端的に表しているとして、そのままの構成を保持することとした。

しかしながら、一方では、兵庫県南部地震以後の新しい動きに対応して当小委員会の見解を示すべき課題も多々提起されていることが認識された。特に、土木学会に設置された耐震基準等基本問題検討会議の第二次提言（平成8年1月10日）では、地震荷重として、従来の震度法を中心とする体系で用いられるレベル1地震動に加えて、低頻度巨大外力としてのレベル2地震動に対応する設計体系をすべての土木構造物に取り入れるべきことがうたわれ、レベル2地震動の設定法として、震源断層を想定してそこから発生する地震動を推定することが基本とされた。こうした理念は、その具体化へ向けて、多くの工学的努力を必要とするが、そこでは、その時代の最高の知見を結集して工学的実践に反映させるという、ダイナミックな環境が生まれることが要請される。

上記の土木学会二次提言の作成過程で、当地震荷重小委員会委員の何人かが検討会議委員として起草に直接参画し、また、特に設計用地震荷重に関する提言の内容について、地震荷重小委員会で草案を検討する機会も持った。また、第二次提言が実施されて以後は、提言に述べられるレベル2地震動評価のさらに具体的な方法や、今後重点的に研究されるべき課題の整理などについて、土木学会でその役割を果たしうるのは地震荷重小委員会の

みであるとの認識が強く持たれた。

以上の状況のもとで、地震荷重小委員会としては、分科会報告に加えて、レベル2地震動に関する問題を整理し、見解をまとめることとした。そのため、平成8年4月14・15日に、地震荷重の課題に関するワークショップを行って、問題点の整理と、KJ法を用いた体系化の作業を行った。さらに、平成8年7月9日の小委員会を拡大小委員会として耐震工学委員会を中心に広く参加を呼びかけ、地震荷重の課題に関する討議を行った。

## 2.2 地震荷重小委員会の成果と本報告書の概要

地震荷重小委員会の活動成果をまとめるに当たり、阪神・淡路大震災の発生前と後で活動のフェーズが大きく変わったことをどのように反映するかが入念に検討された。その結果、本報告書を以下の3部構成とすることとした。

第2章(本章)は本小委員会の活動経過を記述するものであり、設立の段階で認識されていた小委員会の必用性、特に地震荷重論や設計論の関係で、極限地震動や変位制御型の設計法の必要性など、兵庫県南部地震の経験でクローズアップされた事項が検討課題として挙げられていたこと、この震災により、こうした点の検討がさらに進展した状況を述べている(2.1)。さらに、小委員会の経過(2.3)、委員名簿(2.4)、さらに兵庫県南部地震の地震動体験会の状況(2.5)もこの章にまとめた。

つぎに第3章は、兵庫県南部地震をふまえた地震荷重の今後の方向に関する検討内容をとりまとめたもので、兵庫県南部地震をきっかけとして行った2つの活動にもとづいている。2.1で述べたように、本小委員会では兵庫県南部地震の経験を地震荷重評価の側面から徹底検証するための討論を約1年かけて行った。その検討内容を集約する方法として、平成8年4月14～15日に地震荷重に関するワークショップを実施し、ついで平成8年7月9日に、レベル2地震動と地震荷重に関する討論会を拡大小委員会の形で開催した。ワークショップでは、1年間の小委員会の討論を基礎に、参加者が今後の地震工学上の検討課題をできる限り広い視野から提出し、その体系的な整理を行ったものである。手法としてはKJ法を用いた課題の提出と集約を行うとともに、得られた結果に対する考察を行い、報告書に収録した(3.1)。拡大小委員会では、土木学会提言に盛り込まれたレベル2地震動の考え方とその評価法の現状を整理した。項目として、レベル2地震の選定方法、レベル2地震動の評価のための理論的手法、半経験的手法、経験的手法を取りあげて討論を行った。本報告書では、拡大小委員会への提出資料をもとに、当日の討論の結果を加味してとりまとめを行った(3.2)。

最後に第4章は、4つの分科会の活動報告である。すなわち、第1分科会報告「設計地震荷重のレビュー」(4.1)、第2分科会報告「極限地震動の評価」(4.2)、第3分科会報告「今後の耐震設計における地震荷重の方向」(4.3)、および第4分科会報告「地震時緊急対応における地震荷重評価」(4.4)からなる。これらはいずれも小委員会の発足当初に定めた主題であるが、内容的には兵庫県南部地震の発生により起こった状況の変化、種々の

技術的検討の進展を、地震発生前の状況と対比しながら解説しており、本小委員会の中核をなす検討結果をとりまとめている。

## 2. 3 小委員会等開催経過

### 平成4年(1992)

- ・ 準備会(幹事会):平成4年6月4日(木)、17:00～19:00
- ・ 耐震工学委員会:平成6年6月9日(火)、地震荷重小委員会の設置承認
- ・ 第1回小委員会:平成4年9月21日(月)、17:00～19:00  
委員会運営の方針一分科会の設置、話題提供の方針
- ・ 第2回小委員会:平成4年11月26日(木)、16:00～19:00  
話題提供:志波由紀夫(大成建設)「応答変位法における地震荷重」  
大町達夫(東京工業大学)「物体の跳躍」

### 平成5年(1993)

- ・ 第3回小委員会:平成5年1月29日(金)、16:00～19:00  
話題提供:東畑郁生(東京大学)「流動地盤中の埋設物に作用する地震力」  
中村 豊(鉄道総研)「リアルタイム地震防災」
- ・ 第4回小委員会:平成5年3月11日(木)、16:00～19:00  
話題提供:佐伯光昭(日本技術開発)「道路橋の設計地震荷重」  
武村雅之(鹿島建設)「震源近傍の地震動」
- ・ 第5回小委員会:平成5年5月18日(火)、16:00～19:00  
話題提供:五十嵐俊一(大成建設)「エネルギーによる地震荷重評価」  
川上英二(埼玉大学)「観測記録を含む時空間地震波形」
- ・ 第6回小委員会:平成5年7月23日(金)、16:00～19:00  
話題提供:鈴木英世(東京電力)「電力設備の免震」  
泉谷恭男(信州大学)「強震記録に含まれる震源特性」
- ・ 幹事会:平成5年7月23日(金)、19:00～20:00
- ・ 第7回小委員会:平成5年10月6日(水)、16:00～19:00  
話題提供:高田至郎(神戸大学)「ライフラインシステムのためのモニタリングとシステムコントロール」
- ・ 第8回小委員会:平成5年12月22日(水)、16:00～19:00  
話題提供:栗原千鶴子(電力中央研究所)「タンク型高速増殖炉の耐震性について」

### 平成6年(1994)

- ・ 第9回小委員会:平成6年2月28日(月)、16:00～19:00

話題提供：井合 進（港湾技術研究所）「ノースリッジ地震の被害状況報告及び日米の矢板式構造物の耐震設計法の比較・評価」  
伯野元彦（東洋大学）「ノースリッジ地震の被害状況報告」

- ・ 第10回小委員会：平成6年4月25日（月）、16:00～19:00

話題提供：石川 裕（清水建設）「地震危険度解析と想定地震」

- ・ 第11回小委員会：平成6年6月13日（月）、16:00～19:00

話題提供：伯野元彦（東洋大学）「近代的火の見やぐらによる火元情報の収集と避難誘導」

森 伸一郎（飛島建設）「北海道南西沖地震における杭の液状化被害」

- ・ 第12回小委員会：平成6年10月24日（月）、16:00～19:00

話題提供：杉戸真太（岐阜大学）「周波数特性を考慮した等価ひずみによる地盤の簡易地震応答解析法」

- ・ 第13回小委員会：平成6年12月22日（木）、16:00～19:00

話題提供：東畑郁生（東京大学）「土の動的性質—現実と実験の対照」

平成7年（1995）—[1月17日に兵庫県南部地震発生。]

- ・ 第14回小委員会：平成7年3月22日（水）、16:00～19:00

話題提供：大町達夫（東京工業大学）「地震時に鐘楼が跳躍することについて」

石川 裕（清水建設）「神戸における地震危険度解析」

後藤洋三（大林組）「ポートアイランド鉛直アレー記録および最大加速度分布」

兵庫県南部地震を受けての小委員会の方針—1年間は、系統的に兵庫県南部地震の地震動と被害の関係を徹底検証する

- ・ 第15回小委員会：平成7年4月24日（月）、15:00～19:00

話題提供：後藤洋三・江尻譲嗣（大林組）「地震加速度と構造物の被害」

五十嵐俊一（大成建設）「最近の強震記録の比較検討」

- ・ 1995年兵庫県南部地震観測地震動体験会：平成7年6月7日（水）、10:00～14:00

（飛島建設技術研究所にて）

- ・ 第16回小委員会：平成7年6月7日（水）、16:00～19:00

話題提供：泉谷恭男（信州大学）「兵庫県南部地震の震源過程と強震動」

武村雅之（鹿島建設）「関東地震における震源域の地震動」

五十嵐俊一（大成建設）「不整形地盤の強震動と構造物の被害」

中村 豊（鉄道総研）「神戸市内の地盤特性と鉄道列車の被害」

野畑有秀（大林組）「神戸海洋気象台記録に対する地形効果」

- ・ 第17回小委員会：平成7年7月25日（火）、15:00～19:00

話題提供：井合 進（港湾技術研究所）「港湾施設の被害と港湾地域の強震記録」

- ・ 第18回小委員会：平成7年9月12日（火）、15:00～19:00

話題提供：森 伸一郎（飛島建設）「神戸人工島で噴出したまさ土の振動台液状

化実験」

磯江 暁（川崎重工）「貯槽タンクの被害事例」

- ・第19回小委員会：平成7年10月26日（木）、16:00～19:00

話題提供：神野邦彦（佐藤工業）「地下鉄駅の被害事例について」

鈴木猛康（熊谷組）「地下駅の地震応答解析（1）」

立石 章（大成建設）「地下駅の地震応答解析（2）」

- ・第20回小委員会：平成7年12月11日（月）、16:30～19:30

話題提供：渡辺忠明（JR 東日本）「兵庫県南部地震における高架橋の被害」

佐伯光昭（日本技術開発）「兵庫県南部地震における高架橋の液状化被害」

亀田弘行（京都大学）「土木学会耐震基準等基本問題検討会議・第一分科会（地震動）における第二次提言の方向について」

平成8年（1996）

- ・拡大幹事会：平成8年2月17日（土）、16:00～18:00

- ・第21回小委員会：平成8年3月4日（月）、16:00～19:00

小委員会の活動方針（ワークショップの実施、拡大小委員会による討論会の開催、成果のまとめ）

- ・地震荷重の課題に関するワークショップ：

平成8年4月14日（日）11:00～15日（月）正午（JR 東日本マリンあじろにて）

- ・第22回小委員会：平成8年4月24日（水）、16:00～19:00

話題提供：澤田純男（京都大学）「大阪府における入力地震動評価の取り組み」

小委員会の活動方針（ワークショップのレビュー、拡大小委員会の方針）

- ・第23回小委員会：平成8年5月29日（水）、16:00～19:00

小委員会の活動方針（土木・建築両学会合同調査委員会とレベル2地震動の認識、ワークショップのまとめ、拡大小委員会の進行）

- ・第24回小委員会：平成8年7月9日（火）、13:30～17:00

（拡大小委員会「レベル2地震動と地震荷重に関する討論会」）

(1) 土木学会提言における地震および地震動（亀田弘行）

(2) 網代ワークショップの成果（五十嵐俊一）

(3) レベル2地震動について

a. 概要（大町達夫）

b. L2地震の選定方法（石川 裕）

c. 経験的手法によるレベル2地震動の評価法（杉戸真太）

d. 半経験的方法によるレベル2地震動の評価（江尻譲嗣）

e. 理論的手法によるレベル2地震動の評価（東原紘道）

(4) 休憩

(5) 討論（司会：亀田弘行・大町達夫）

- ・第25回小委員会：平成8年9月11日（水）、16:00～19:00  
 話題提供：杉山雄一（工業技術院）「活断層調査の現状と地震防災への適用について」  
 報告書まとめの方針
- ・第26回小委員会：平成8年11月25日（月）、14:00～17:00  
 話題提供：瀬瀬一起（東京大学）「震災の帯の解明はどこまで進んだか」  
 報告書とりまとめの方針

#### 平成9年（1997）

- ・第27回小委員会：平成9年1月30日（木）、14:00～17:00  
 報告書のとりまとめ（粗原稿の検討）
- ・第28回小委員会：平成9年3月21日（金）、14:00～17:00  
 報告書のとりまとめ（原稿の検討）
- ・第29回小委員会：平成9年5月20日（火）、16:00～19:00  
 報告書のとりまとめ  
 委員会としては最終回とし、今後は主査・幹事会（委員長・幹事長・分科会主査・幹事）で対応する。
- ・主査・幹事会：平成9年6月14日（土）、17:00～19:30  
 原稿のとりまとめは編集幹事で対応する。

## 2. 4 地震荷重小委員会委員一覧

委員長：伯野元彦（東洋大学工学部）

幹事長：亀田弘行（京都大学防災研究所）

幹事：第1分科会主査：渡辺啓行（埼玉大学工学部）

第2分科会主査：大町達夫（東京工業大学大学院総合理工学研究科）

第3分科会主査：井合 進（運輸省港湾技術研究所）

第4分科会主査：高田至郎（神戸大学工学部）

総括幹事：杉戸真太（岐阜大学工学部）

田村敬一（建設省土木研究所）（平成4年9月～平成4年12月）

常田賢一（建設省土木研究所）（平成5年1月～平成5年3月）

拡大幹事：五十嵐俊一（大成建設土木設計部）（平成5年3月から委員）

石川 裕（清水建設技術研究所）

佐伯光昭（日本技術開発土木本部）

森伸一郎（飛島建設技術研究所）（平成5年1月から委員：兼編集幹事）

編集幹事：江尻譲嗣（大林組技術研究所）

立石 章（大成建設土木設計部）（平成5年7月から委員）

委員：泉谷恭男（信州大学工学部）

磯江 暁（川崎重工鉄構事業部）

稲富隆昌（運輸省港湾技術研究所）

蛭沢勝三（日本原子力研究所原子炉安全工学部）（平成5年7月から）

大塚久哲（建設省土木研究所）（平成5年4月～平成6年5月）

大保直人（鹿島建設技術研究所）（平成4年11月～平成6年3月）

荻原良二（建設省土木研究所）（平成6年6月から）

川上英二（埼玉大学工学部）

神野邦彦（佐藤工業技術本部）（平成5年7月から）

坂井藤一（川崎重工鉄構事業部）

澤田純男（京都大学工学部）（平成8年5月から）

志波由紀夫（大成建設技術研究所）（平成4年9月～平成5年5月）

鈴木猛康（熊谷組技術研究所）（平成4年11月から）

武村雅之（鹿島建設小堀研究室）

東畑郁生（東京大学工学部）

中村 豊（システムアンドデータリサーチ）

永田 茂（鹿島建設技術研究所）

西村昭彦（鉄道総合技術研究所）

原田隆典（宮崎大学工学部）

山崎文雄（東京大学生産技術研究所）

なお、委員の所属は、委員会終了時点（平成9年5月20日）のものである。



## 2.5 兵庫県南部地震の地震動体験会

### 2.5.1 地震動体験会の概要

#### (1) 目的

土木学会耐震工学委員会地震動荷重研究小委員会の研究活動の一環として、飛島建設技術研究所の協力を得て、本小委員会の研究活動の一助とすることを目的に、兵庫県南部地震の地震動体験会を催した。体験会は、1995年6月7日(水)第16回小委員会開催日の午前中に、千葉県東葛飾郡関宿町にある飛島建設技術研究所において、3次元振動台による3成分同時加振の地震動を体験するとともに、体験の直後に感想を述べ合うことにより、兵庫県南部地震の地震動の性質を研究者自らの体感で把握しようと試みる企画であった。

#### (2) 内容

1995年兵庫県南部地震で観測された地震記録を用いた加振が中心であるが、比較のために、耐震設計でよく用いられる1968年十勝沖地震において八戸港で観測された地震記録を用いた加振を最初に行った。下に加振順に加振波を示す。

- ①八戸港湾の記録 (HCN) : 運輸省港湾技術研究所観測
- ②神戸海洋気象台の記録 (JMA) : 気象庁神戸海洋気象台観測
- ③神戸大学の記録 (KBU) : 関西地震観測協議会観測
- ④ポートアイランドの記録 (KPI) : 神戸市開発局観測、上記協議会提供

#### (3) 体験会参加者

伯野 元彦 委員長、亀田 弘行 幹事長、井合 進 幹事、杉戸 真太 幹事、石川 裕 委員、泉谷 恭男 委員、蛭沢 勝三 委員、川上 英二 委員、神野 邦彦 委員、武村 雅之 委員、古本吉倫 オブザーバー、森 伸一郎 委員

### 2.5.2 体験加振ケースと振動台加振波の特性

いずれの記録も、主要動を含む40秒を取り出し、前に10秒間、後に30秒間のゼロを加え、ハイパスフィルター (HPF) を施して、FFTにより速度・変位波形を求めた。加振は変位制御である。加振用制御波は、3方向同時加振を前提に、予めフィードバック制御により作成している。3方向同時加振の際の振動台は、オリジナルの記録通りに挙動するが、この加振波を用いて1方向または2方向の加振をした場合、実現波形は、若干異なる可能性がある。

図2.5.1に八戸 (HCN) の、図2.5.2に神戸海洋気象台 (JMA) の、図2.5.3に神戸大学 (KBU) の、図2.5.4にポートアイランド (KPI) の観測記録の加速度、速度、変位の時刻歴

を示す。0.1Hzで1、0.05Hzで0となる特性のハイパスフィルターを施し、FFTにより積分して加速度時刻歴から速度・変位時刻歴を計算したものである（ただし、KBUは速度時刻歴より微分または積分により加速度変位時刻歴を計算したものである）。図には、主要動部40秒間の時刻歴を示している。また、図2.5.5にトリパタイト表示した加速度応答スペクトルを示す。

実験に用いた振動台は、平面寸法が4m×4m、搭載重量が定格10tf、最大20tfの3次元6自由度の油圧サーボ式振動台（三菱重工業社製）で、加振能力としては、最大変位で水平±20cm、鉛直±10cmであり、最大加速度で、正弦波単軸入力時に水平2G（定格時1G）、鉛直1.6G（定格時0.8G）であるが、地震波入力時には、最大変位の制限内であればそれを上回ることもある。

振動台の加振変位の制限は、水平変位が±20cmまで、上下変位が±10cmまでであるため、変位振幅の大きい成分については、観測記録から長周期成分をカットする必要がある。地震波ごとにハイパスフィルターのカットオフ振動数を変え、容量一杯に揺れるようにした。KPIの上下動については、水平変位と同程度発現するので、ハイパスフィルター波の振幅をさらに1/2に低減している。表2.5.1に地震記録の最大値と加振に用いたハイパスフィルター波の最大変位を示す。

表 2.5.1 地震記録の最大値と加振に用いたハイパスフィルター波の最大変位

加振波	フィルター	除去された 長周期成分	成分	観測記録の最大値			HPF 濾過最大変位	
				A	V	D	実現値	加振
JMA	0.22HzHPF	4.5 秒以上	NS	818	90.5	20.7	約 20	HPF 波
			EW	617	75.3	19.4	約 19	HPF 波
			UD	332	40.3	11.5	約 10	HPF 波
KPI	0.30HzHPF	3.3 秒以上	NS	341	91.2	39.3	約 20	HPF 波
			EW	284	50.9	30.7	約 17	HPF 波
			UD	556	61.9	27.8	約 20	1/2 に
KBU	0.12HzHPF	8.3 秒以上	NS	270	55.1	15.1	約 15	HPF 波
			EW	305	31.0	6.9	約 7	HPF 波
			UD	446	33.2	11.7	約 9	HPF 波
HCN	なし	なし	NS	225	33.7	9.6	約 10	原波
			EW	183	35.8	10.5	約 11	原波
			UD	114	10.3	7.4	約 7	原波

cm/s<sup>2</sup>    cm/s    cm    cm

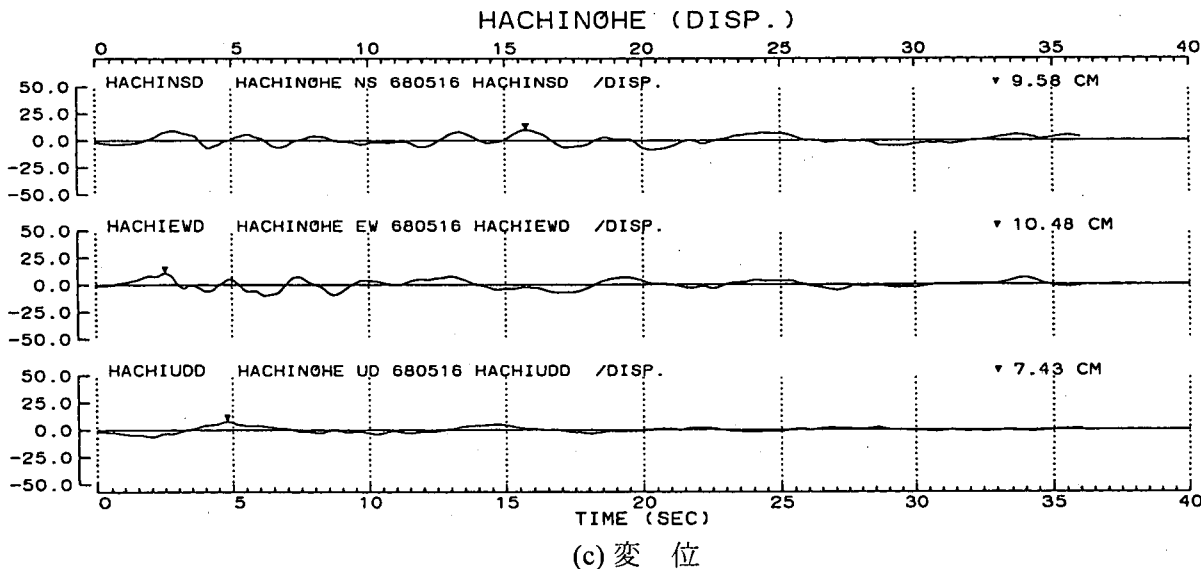
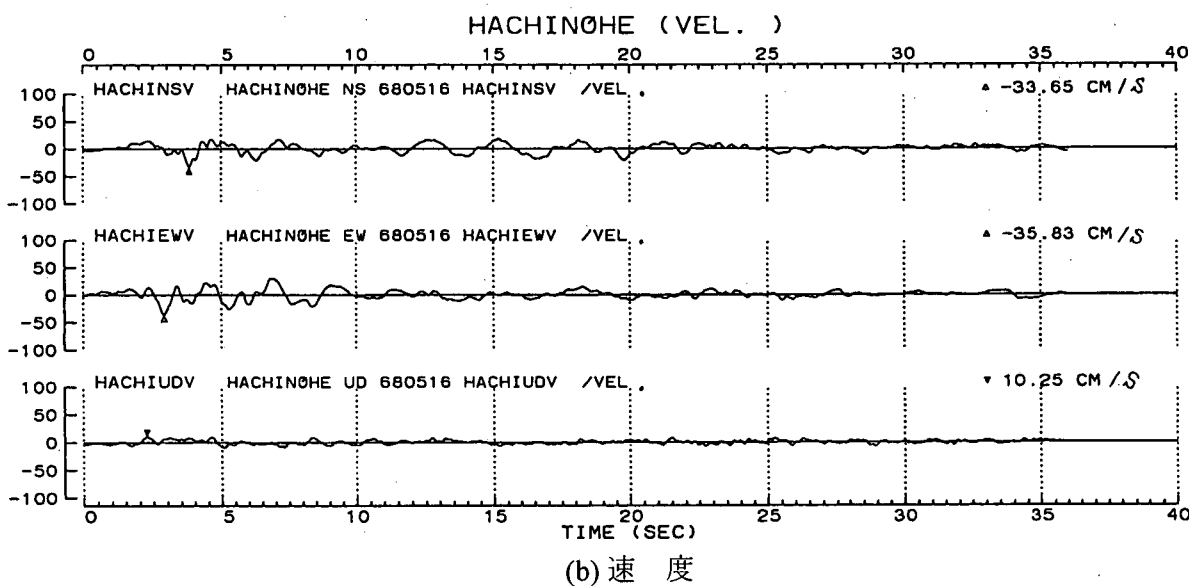
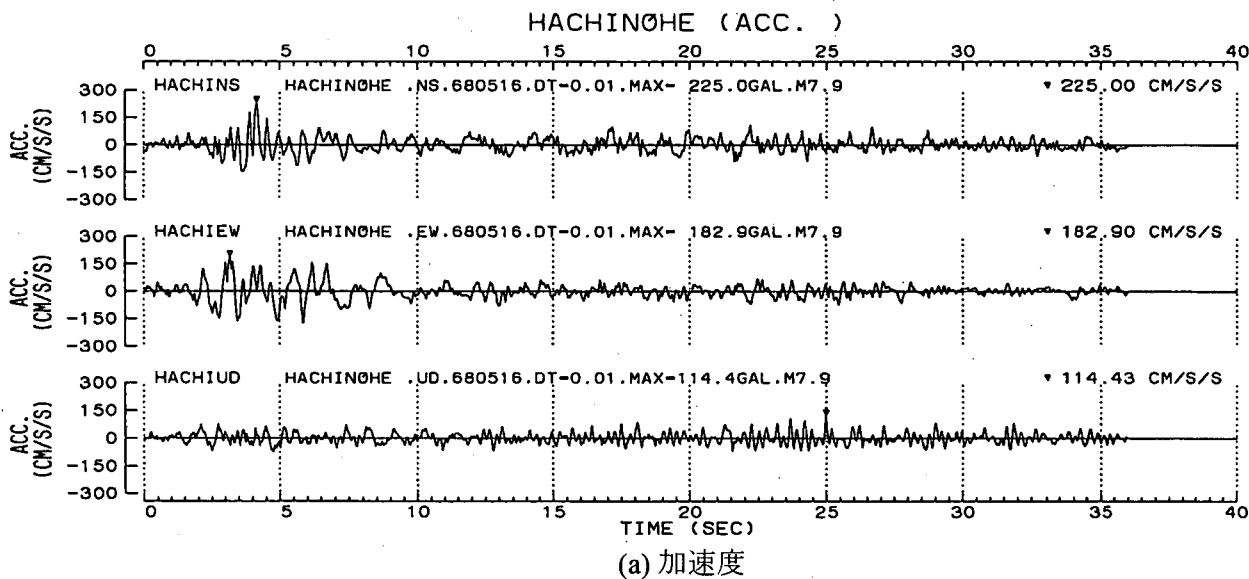
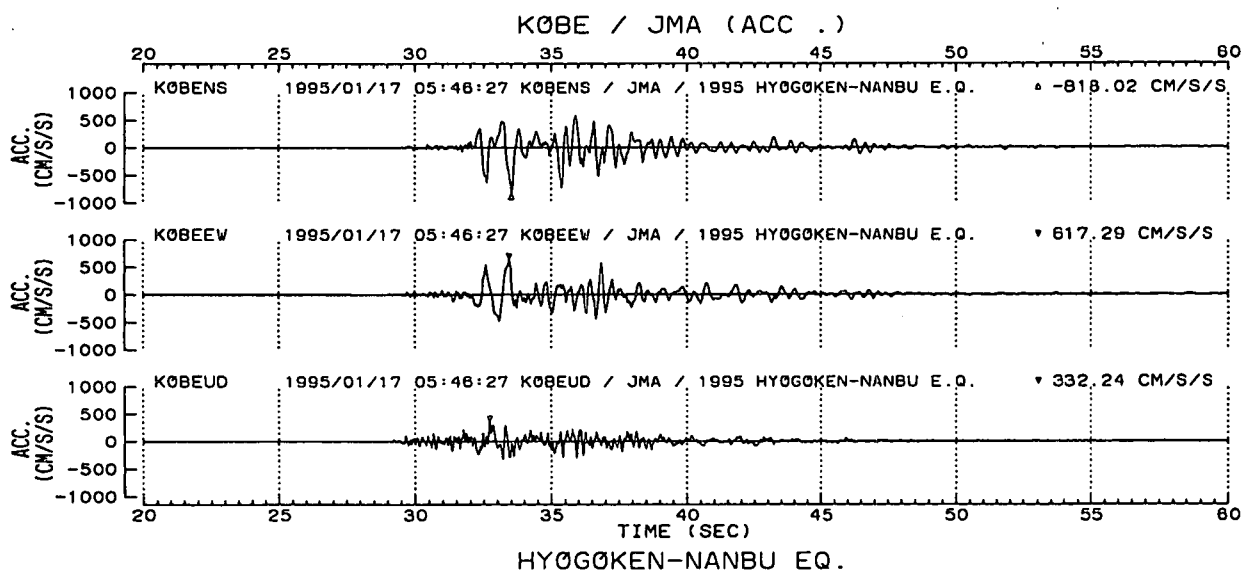
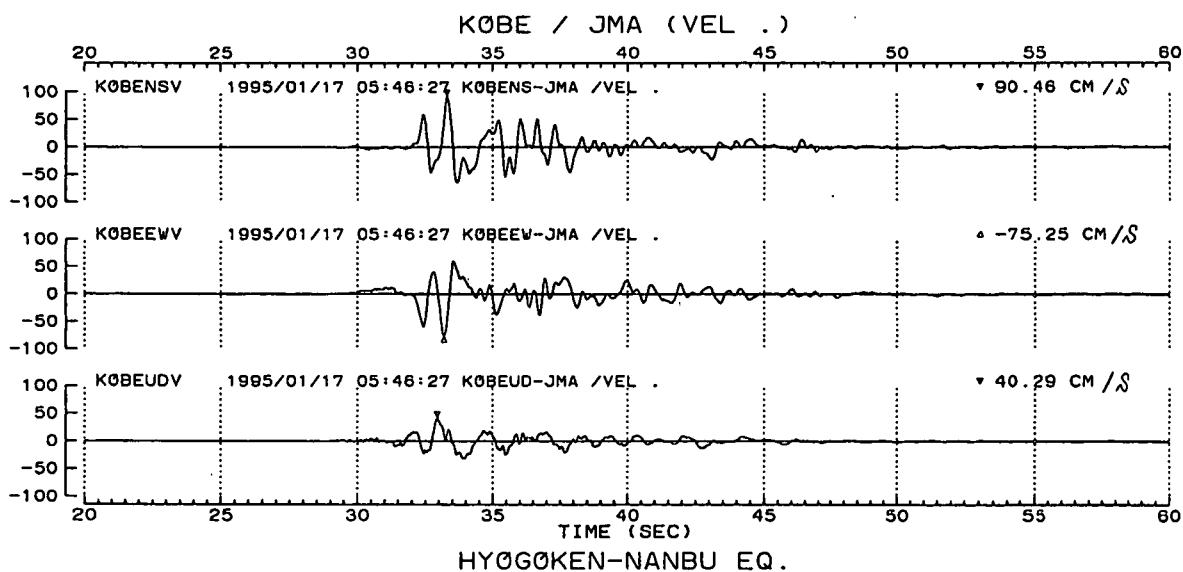


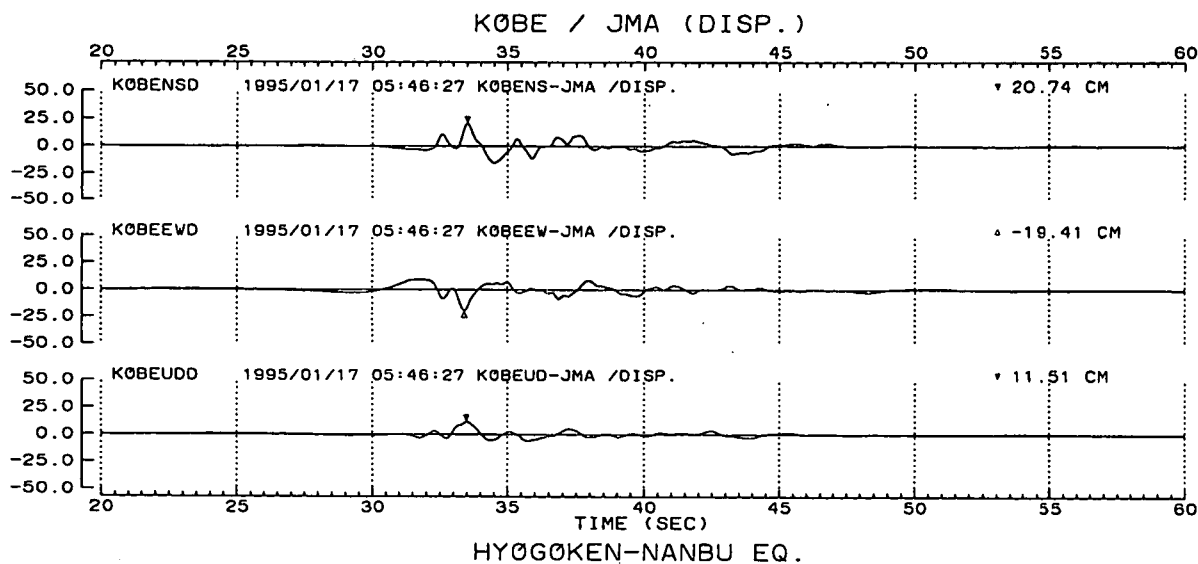
図 2.5.1 1968 年十勝沖地震における八戸港湾 (HCN) の観測地震波時刻歴



(a) 加速度

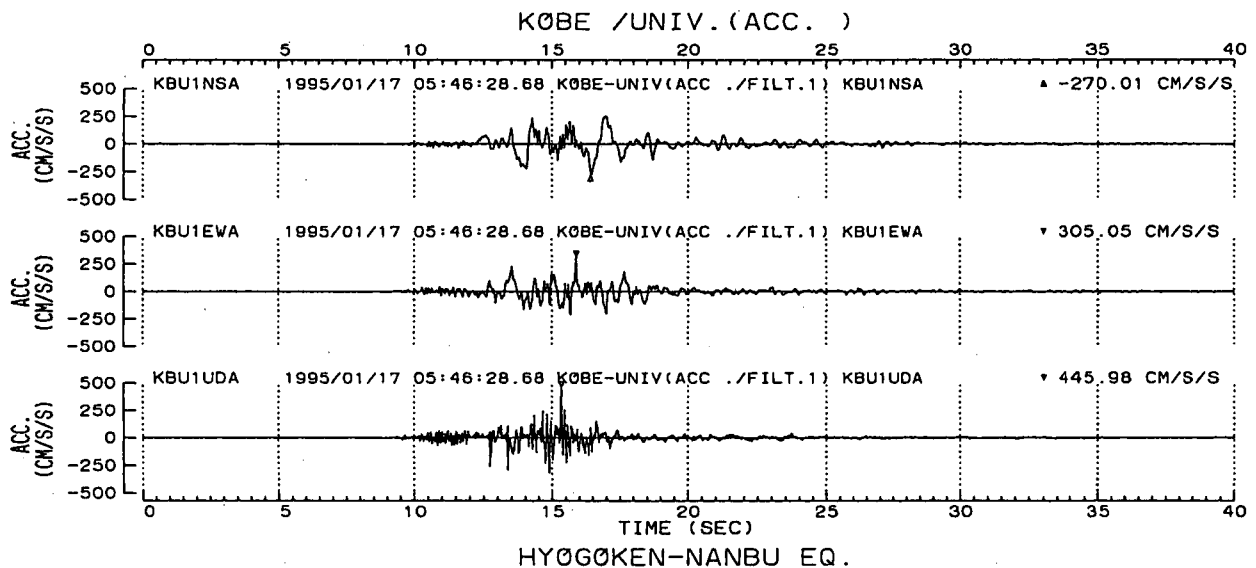


(b) 速度

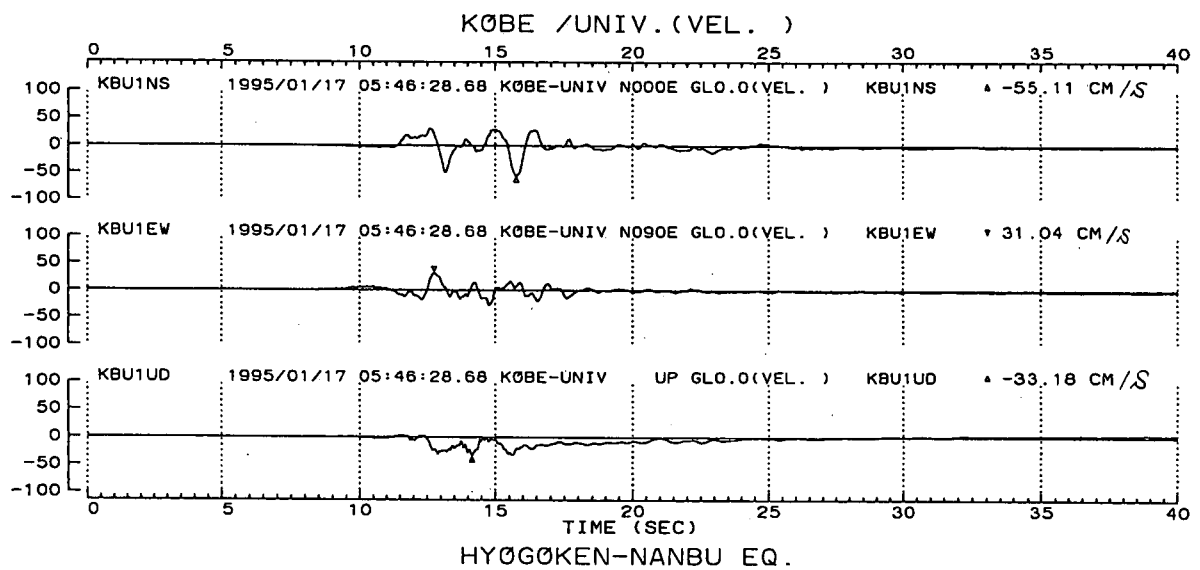


(c) 変位

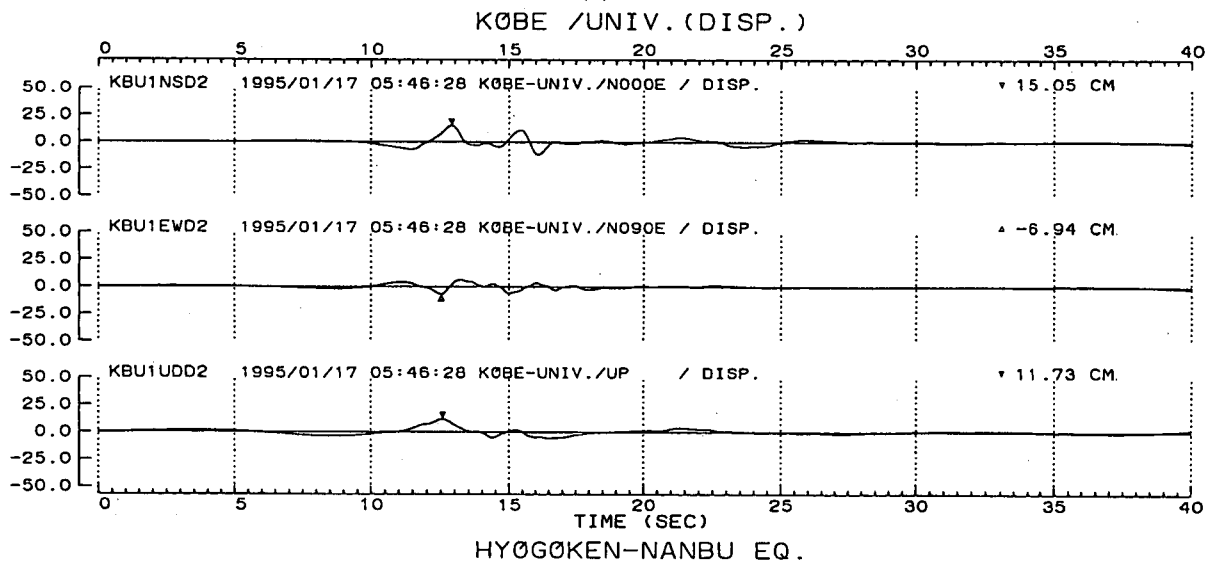
図 2.5.2 1995 年兵庫県南部地震における神戸海洋気象台 (JMA) の観測地震波時刻歴



(a) 加速度

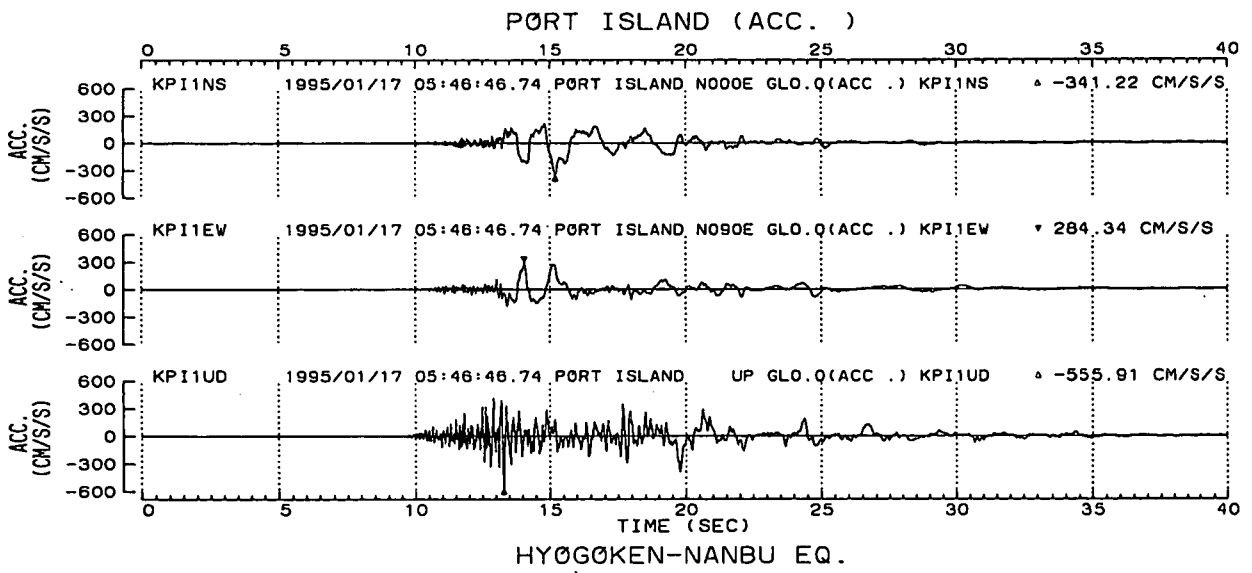


(b) 速度

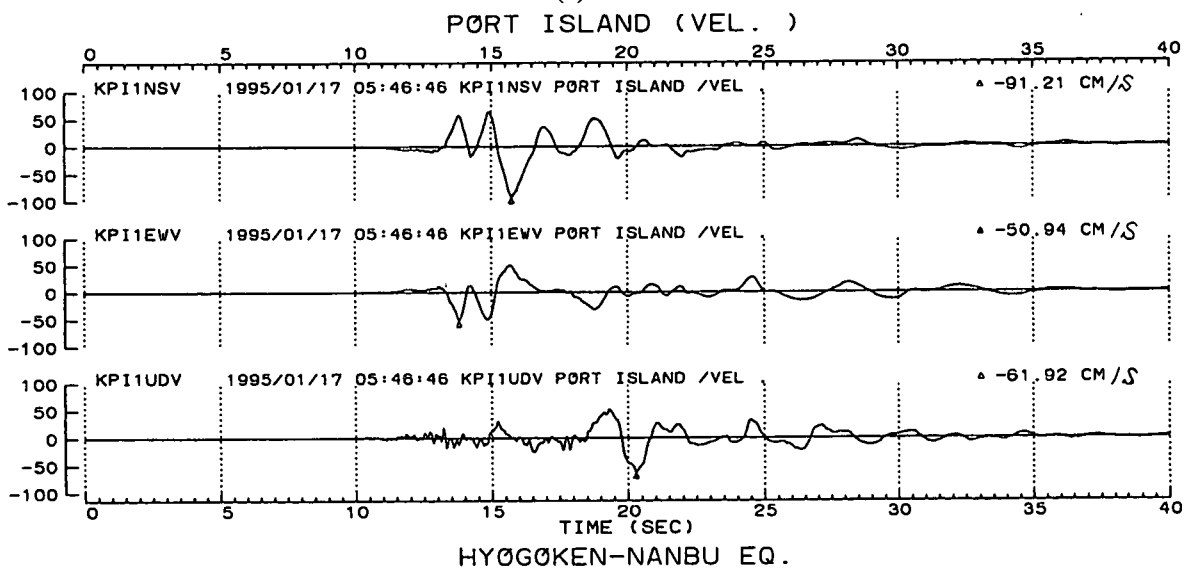


(c) 変位

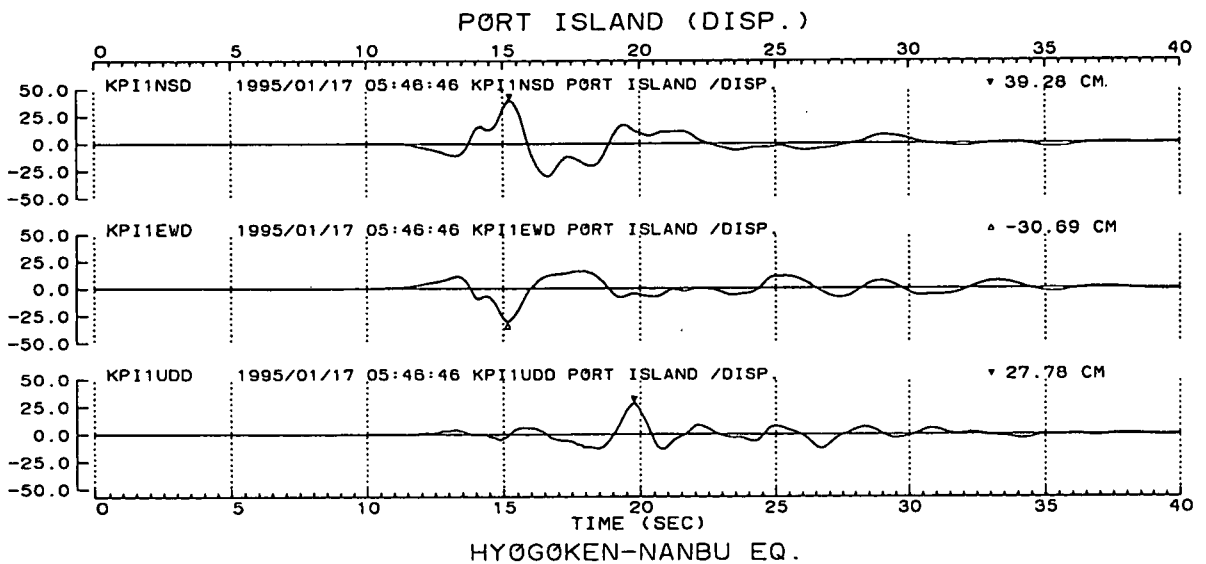
図 2.5.3 1995 年兵庫県南部地震における神戸大学 (KBU) の観測地震波時刻歴



(a) 加速度

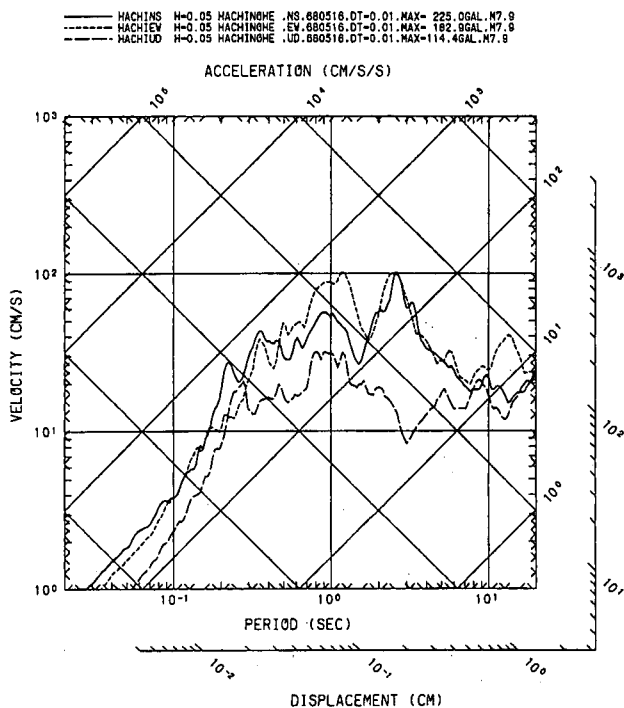


(b) 速度

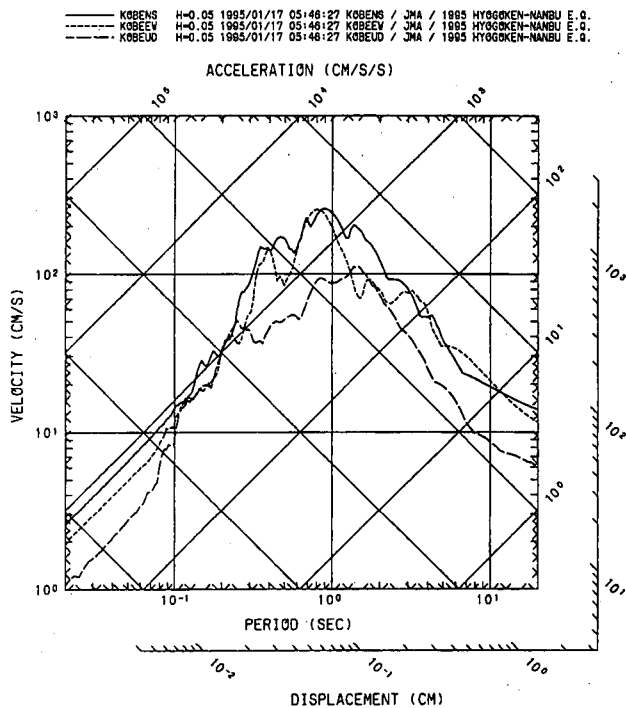


(c) 変位

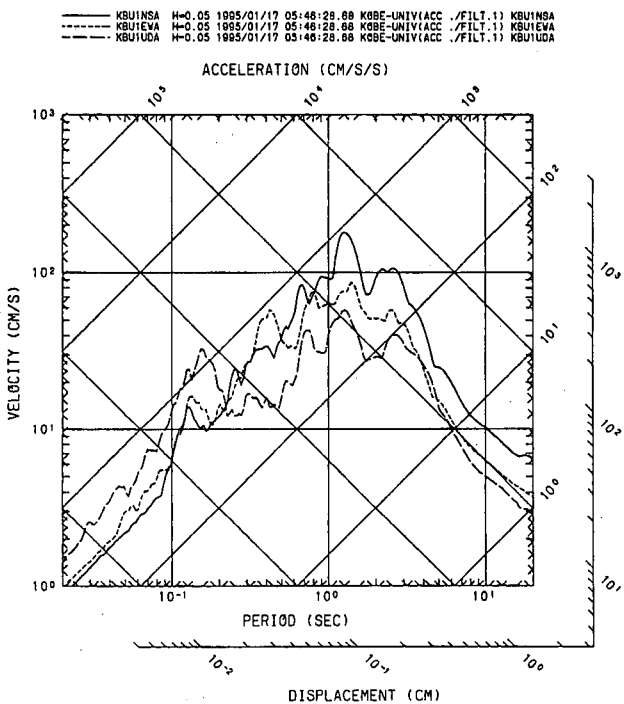
図 2.5.4 1995 年兵庫県南部地震における神戸ポートアイランド (KPI) の観測地震波時刻歴



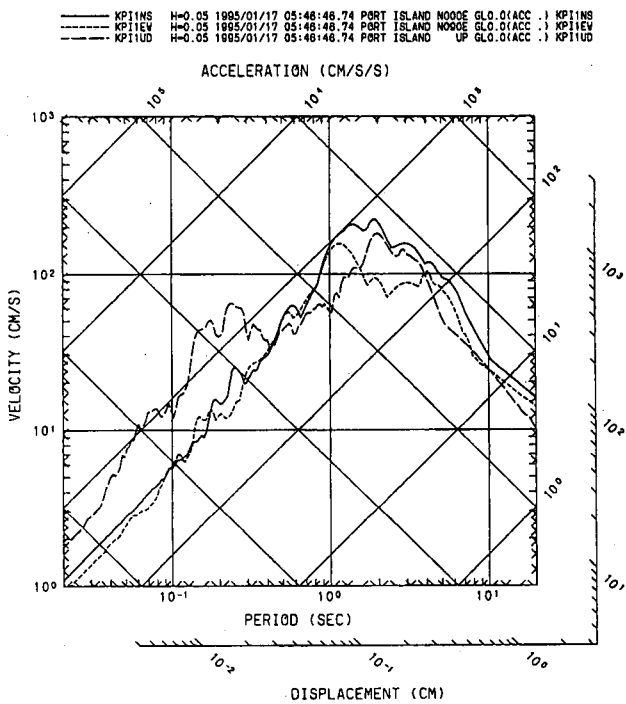
HACHINOHE (H=0.05)  
(a) 八戸港湾 (HCN)



KØBE/JMA H=0.05  
HYOGOKEN-NANBU EQ.  
(b) 神戸海洋気象台 (JMA)



KØBE-UNIV. H=0.05  
HYOGOKEN-NANBU EQ.  
(c) 神戸大学 (KBU)



PI H=0.05  
HYOGOKEN-NANBU EQ.  
(d) 神戸ポートアイランド (KPI)

図 2.5.5 加振に用いた4つの観測地震波の加速度応答スペクトル

### 2.5.3 体験後の感想

#### (1) 体験直後の意見交換（会議室において）

伯野：今まで物が壊れるのは共振で壊れるものと思っていた。今日の体験で2発ぐらいで壊れることもあるのかな、と思った。神戸大学と神戸気象台の波のときは、「ああ、これは壊れるわ。」と感じた。でも、周辺の建物はどうして壊れないんでしょう。これまで多度津の振動台で2.3G(2次元)を何度も経験したが、今日の体験に比べれば全然大したことはない。今回の地震動はこれまでの設計用地震動よりきつかった。変位も効くのかな、というようにも感じた。また、これまで2次元の揺れの経験しなかったが、3次元の揺れが効くな、というのも今回感じた。

蛭沢：神戸大は「固い」という感じに対し、気象台は「軟らかい」という感じがした。宮城県沖地震では新幹線の構造物に被害が出た。日本海中部地震では五能線に被害がでた。これらのことを考えると、原発は「固い」ので、おのずと対策の考え方も違うのではないかな、と感じた。原子力発電所の場合、建屋と建屋との相対変位がまずいのかな、と思う。

井合：KPIの揺れは、想像していた揺れとは違った。ドーンという衝撃が構造物を壊したと想像していた。もっと衝撃的かと思っていた。少し「角がとれている」感じがした。揺れが本当に大きいというのは体験してよくわかった。本当に勉強になった。ポートアイランドに関連して解析や実験をしているが、対象としているのは主要動の10秒程度だ。今日の体験で10秒位ではだめで、もっと長い区間を採る必要があると思った。最低でも20秒は要ると感じた。

泉谷：これまで震度Ⅲまでしか体験したことがなかった。また、地震というのは八戸の記録が代表的なものだと思っていた。これまで設計でよく用いられている八戸波でなぜ壊れるのか、と思っていた。ところがJMA神戸の波はガクッガクッとくる。なるほどこれでは壊れるなと思った。

武村：関東地震の体験談を研究しているので、今日の体験会は楽しみにしていた。体験談でもかなりのことが分かるのではないかと今日体験で感じた。2度目のJMA記録の加振の時、南向きにあぐらですわったが、体験談のまとめ風に言えば、「尻を持ち上げられるよう。瞬間横揺れで南東へ大きくふられる。その中でも大きな上下動がフワリと来る。揺れは左右上下めちゃくちゃ。両手をつかないと倒れるくらい。激しい揺れは全部で10～15秒くらいで終わる。」となるだろう。自分の経験では、宮城県沖地震を仙台で体験した。東北大に居て、書棚の本が揺れた。恐怖を感じて床にすわったが、倒れなかった。ところが今日の体験では座っていたが倒れるほどだった。ゴムマリのような感じだったが、比較すると、揺れ方が今回



の方がずっと大きい。被害と関係があるのかな、と感じた。

杉戸：地震動を研究しているが、普段は計算ばかりしているので、人間というフィルターを通して感じる事ができ、良い経験だった。揺れの体感はもちろんだが、目に見えることが重要な要素ではないか。今日のような体験では、周りは明るく周囲が見えるが、神戸の地震の体験者は周りが暗く、恐怖感もずいぶん違おうだろう。体験はそういう人間というフィルターを通してしているので、体験談かあの地震動の揺れの推測には注意が必要ではないか。また、上下動には人間は敏感なので、そのことも考慮する必要があるだろう。本当に破壊力があるのは、震源から出るとどのような周期の波かということが大事だ。

石川：今回の地震記録を使った振動台実験は、自社研究所で見ていたが、振動台に載ったことはなかった。今日の体験で、体に良くないな(?)と感じた。実際の地震の体験には、目に見えるかどうかに加えて、音の効果が加わるのだろう。音の効果があればもっと恐怖感は増していただろう。意外だったのは、KPIの地震波は、(液状化で揺れが抑制されているという見解もあり、)小さいと聞いていたが、小さいどころか迫力ある波だと感じた。

伯野：振動台の上は安心感がある。屋根も落ちない。今回の地震の体験者には、「こうもりが飛んでいるという心象風景」という表現があるように、実際には本が飛んでいたという状況がある。

古本：西宮では、ものすごい音がしたと聞いている。音があれば、恐怖感もあっただろう。地震が来たら、まずはじめに何かをしようと言われるが、あの揺れでは歩けないので何もできない。

森：これまで、7年ほど振動台実験をしてきて、ElCentoro、Taft、八戸などの設計用の地震波や液状化の起きた秋田港の波などを、観測記録原波や振幅を大きくした波の揺れを振動台実験の際に体験してきた。研究用の実験は1次元で行うことが多く、2次元、3次元の揺れを研究外の加振で経験したときに、多方向の揺れは1方向の揺れとは随分違うことを感じていた。また、実地震では、1994年三陸はるか沖地震の調査のとき、最大余震の際の震度Vの揺れを八戸市役所前の道路で体験した。今回の地震のJMA神戸で振動台実験を行い、その際、振動台上で体験した揺れの感覚がそれらの経験とあまりに違うので、それらのことを亀田幹事長に話したところ、今回の企画となった。我々研究者は、被害調査に行つて実際の被害を見たり、地震波そのものや地盤・構造物の解析波形を見ることによって、揺れというものを想像しているが、実際の地震動の体験も研究の足しになるのではないかと思ひ、企画を推進した。改めて今日の体験会で、感じることを主体に振動台に載ったが、

やはり、地震の時の姿勢や周辺の明るさや音の有無は恐怖感に大きく影響するのではないかと感じた。

亀田：今回の地震は大阪で体験した。大阪ではホテルの高層階にいたので、ポートアイランドの波の揺れのような感じだった。今回の体験で、揺れを感じたらすぐ火を消せというが、すぐに火を消すという行動はとれないことがよくわかった。芦屋に住んでいる知人の体験談では、「いきなりドカンときた。それから、ゆらゆらと揺れが続いたが、ドカンという音の直後から家人の悲鳴が聞こえた。」ということだ。音の効果は相当あるだろう。貴重な体験ができる企画をして戴いて、準備など大変だったと思うが、飛島建設の研究所の皆様には感謝している。

伯野：今回のような企画を発展させて、釧路沖の釧路気象台やノースリッジの Tarazana についても併せて体験したい。

井合：今回の地震でも神戸港の新港第6突堤の記録が液状化した記録としてある。

森： 要望が強く、目的が明確であれば、前向きに考えてゆきたい。

## (2) 武村委員の地震学会ニュースレターへの投稿原稿（全文掲載）

標記体験会が土木学会耐震工学委員会地震荷重研究小委員会（委員長：伯野元彦東洋大教授）の主催で、6月7日に飛島建設技術研究所で行われた。筆者も同委員会の委員の1人として参加した。参加者は約10名を数えた。ここでは、体験会で筆者が感じた地震動の様子を報告する。

この体験会は、耐震工学に携わるものとして今回の地震動を実際に体験しようと企画されたもので、参加者により目的は様々である。筆者は近年、1923年関東地震の地震動を検討するため、当時の体験談を研究していることもあり、体験した地震動をどのように体験談として残せるかを自分自身で確かめることを目的として参加した。

体験に用いられた記録は、(1)神戸大学、(2)ポートアイランド（地表）、(3)海洋気象台の3地点で観測されたものである。また比較のために1968年十勝沖地震の八戸港の記録も体験した。体験には3次元振動台が用いられ、担当者の話によれば、振動台に水平20cm、上下10cmの変位制限がある。このため、入力に用いた兵庫県南部地震の各記録はローカットフィルターが作用させてあるが、周期3秒以下は、ほぼ観測された通りの震動が再現されているという事である。ただし、ポートアイランドの上下動のみは振幅が非常に大きく、もともとの記録振幅を半分にして入力された。

実験は、八戸港からはじまり、兵庫県南部地震の記録を(1)、(2)、(3)の順に体験した。その後(2)、(3)を再度体験した。筆者は最初の4回は振動台中央に北向きで立ち、再体

験の2回は南向きに胡座をかいて体験した。体験後すぐに記したメモを以下に示す。

#### 十勝沖地震八戸港

地震が来たなと思ったら3秒くらいして大きな揺れ（よろめく程ではなく、方向もよく分からない）、その後揺れは小さくなり、ゆらゆらと舟に揺られるよう。10～15秒後に大きな長周期地震動を感じて後は次第に弱まる。全体に上下動はあまり感じない。

#### 神戸大学

ドンドンと来た。瞬間北西によろめく大きな横揺れ、その後すぐに静まる。全部で10～15秒間位の揺れか。

#### ポートアイランド

（一度目）ドンドンと来て上下に細かく揺れたと思うと、北西方向の横揺れで大きくよろめく。胸がドキドキ。そのうち長周期になり、時計を見て15秒位かと思ったら、長周期の大きな上下動で、舟が大波を越えたよう。しばらくして終わる。

（二度目）ドンドンと来て横揺れが強くなり北西方向（右斜め後ろ）に倒れ手をつく。振動やや弱くなる。その後大きな上下動で胃が下がるような感じ。まるで、バスが大きなデコボコを越えた時のよう。その後すぐに終わる。

#### 海洋気象台

（一度目）ドンドンと来た。上下の揺れが大きい。瞬間北西方向の横揺れで大きくよろめくが、すごい力で引き戻され反対側で踏んばる足が痛い。今度は北東にやや弱い揺れ、その後上下を含む大きな揺れ、10秒位で弱くなる。

（二度目）尻を持ち上げられるよう。瞬間横揺れで南東へ大きくふられる。其の中にも大きな上下動フワリ、揺れは左右上下メチャクチャ。両手をつかないと倒れる。全部で10～15秒位で終わる。

筆者は、1978年宮城県沖地震を仙台の東北大学のグラウンドで体験した。その時あまりの揺れにグラウンドにしゃがみ込んだ記憶があるが、倒れることはなかった。今回、少なくとも、ポートアイランドや海洋気象台の揺れでは、座った体が倒れてしまった。このことから、地震動の強さはその時よりかなり強かったものと思う。同じように体験した他の参加者からも一様に今回の地震動のすごさに関する感想が聞かれた。この貴重な体験を活かして、今後とも強震動の検討を進めてゆきたい。

最後に、今回の貴重な体験会を実現していただいた飛鳥建設の森主任研究員以下、関係各位に心よりお礼申し上げます。

出典：武村 雅之：1995年兵庫県南部地震観測地震動体験会参加報告－3地点の地震動を体験して－，日本地震学会ニュースレター，Vol.7, No.2, pp.17-18, 1995.7.10