

## 2 編 地盤・基礎分科会

### 1. 地盤・基礎分科会の組織及び活動概要

阪神淡路大震災における地盤及び基礎構造物関係の被害は、広範な地域で、実に様々な規模と形態で発生した。このような地震災害の規模と形態の地域変化は、外力となる地震動の震源距離による深部基盤での地域的变化と、地震動が増幅あるいは減衰しながら透過する地盤自体の構造及び工学的特性の地域的变化によるところが大きいと考えられる。このように変化に富む地盤関係の被害原因を検討するために、本分科会は発足した時点から、関西における地盤の変化と特徴を理解している地盤工学関係の技術者が、地盤と被害の関係について地に足を付けた地盤・地震工学的研究を実施するという視点で活動を始めた。

研究の実施においては、図-1.1.1 に示すように研究手順を大別して、1)地盤及び構造物被害の実態に関するデータを収集する作業、2)収集したデータを分析・特定する作業、3)被害メカニズムの検討・解析作業、4)将来の耐震設計法の確立に向けての作業を経て、最終的に研究成果をまとめることが必要であると考へ、可能な限り3年間の範囲で成果をまとめることを目標として調査活動を開始した。

一方、震災から3年が経過して社会基盤施設の復旧はほぼ完了しており、今後の耐震設計法に関する見直しも既に施行されたものもある。このような急速な復旧作業は、被災構造物毎の関係管理機関の日夜を問わぬ努力で成し遂げられたもので、各構造物毎の個別対応の機能性が発揮されたといえる。本分科会では、後述するように構造物別に10の研究部会を設けて研究活動を開始したが、調査した構造物毎に調査データの収集や分析についての進捗・難易度が異なり、図-1.1.1 に示した研究手順を全ての構造物について画一的に適用することは容易でなく、さらには地盤と全被害との関係を同一の地盤・地震工学的視点で評価し、統一的な耐震設計法の確立に向けて作業を行うまでには、まだ今後多くの検討作業が必要であることが判明した。従って、本報告書では阪神大震災での地盤関係の被災状況について、将来的にも本研究を継続して統一的な耐震設計法の検討ができるように、構造物毎に各研究部会が調査した成果を第3章から第7章においてまとめることとした。

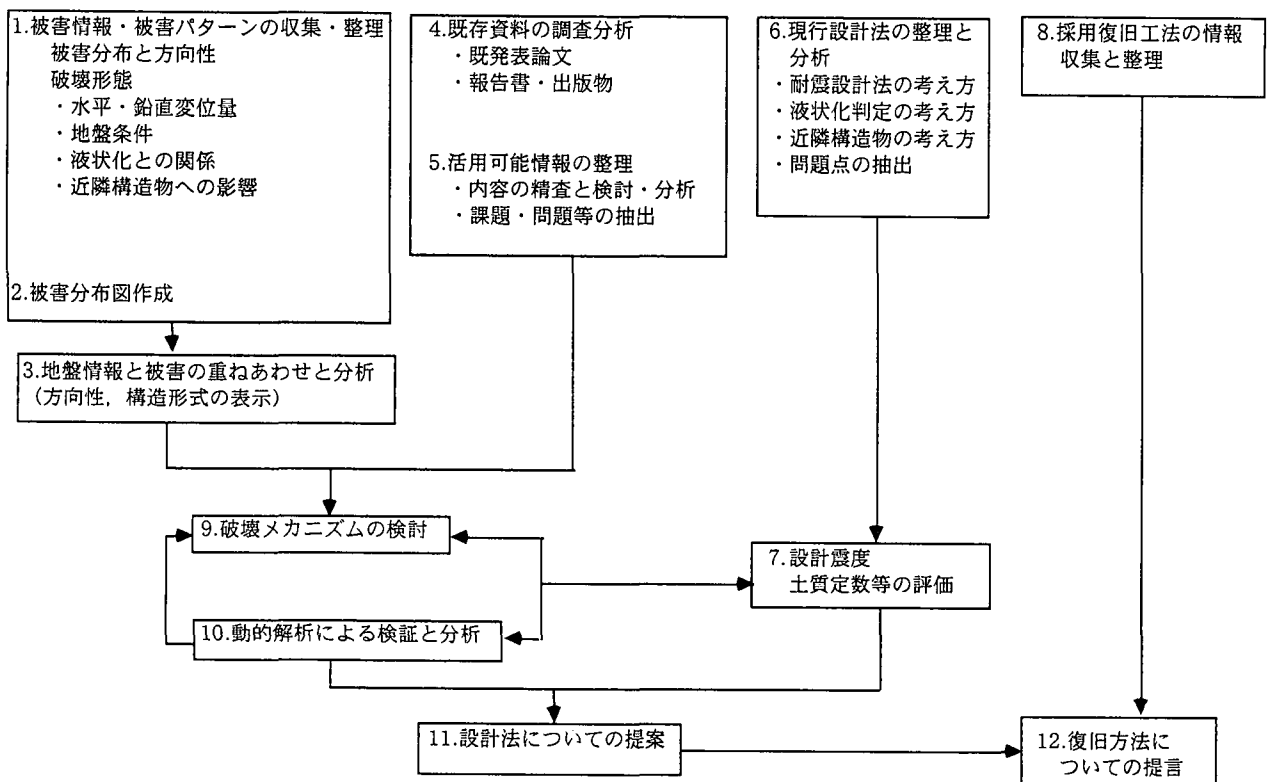


図-1.1.1 地盤災害における調査研究の流れ

なお、第1章では委員会組織及びこれまでの活動の概要を1.1で示し、1.2では地盤関係の被害調査の一環として、震災当日における地盤の特異現象や地盤変状に関して、地盤基礎分科会が独自に実施したアンケート調査の分析成果を示す。また、土木学会関西支部震災調査委員会として、同様なテーマについて関西支部会員を対象にして実施したアンケート調査結果は、既に「支部だより(平成8年7月)」に報告している。第2章では、広域的な関西の地盤特性について記載している。第8章においては、各構造物毎の被災状況を共通の視野で議論するために、液状化問題と震度及び地盤との関係に焦点をあてて、調査の現状及び課題について横断的に整理・検討した。

## 1.1 組織及び活動

本分科会では、地盤及び基礎構造物に関する被害と原因を研究するために、表-1.1.1に示すように検討対象を5項目に大別し、さらに対象項目に対応する構造物毎に研究部会を組織して研究を実施することとした。その結果、主査と約5、6名の委員からなる10組の研究部会が構成されて、それぞれの研究を行ったが、各部会には活動内容に応じて適宜ワーキングメンバーの参加をお願いして、研究活動の充実を図った。3年間に参加した委員・ワーキングメンバーのリストは、表-1.1.2に示すようであり、交代した委員も含めると延べ107人の方々の参加を得た。

表-1.1.1 検討対象項目及び研究部会組織

検討対象項目	研究部会名 (主査)
地盤	山地・土地造成 (沖村) 平地・斜面地 (諏訪) 埋立地・廃棄物 (早川・三田村)
水際線構造物	河川 (三村) 港湾 (田中)
線状構造物	道路・鉄道 (安川) 地下埋設管 (望月)
貯水土構造物	ダム・農地・地下水 (内田)
構造物基礎	高架構造物基礎 (木村) 施設基礎・タンク基礎 (小田)

本分科会では3年間に、各委員からの話題提供と講演を主とした全体委員会を合計20回、また各研究部会間の調整を目的として部会主査からなる主査会を合計19回にわたって実施している。またこの他にも対象構造物に関する検討会を各部会毎に開催している(延べ143回の部会会議)。

各研究部会の活動としては、先述のように、まず検討対象構造物の管理機関より被害に関する情報を収集し、被害形態の分析や被害原因の要因分析を行い、次のステップとして被害のメカニズムを解明するための解析作業に取り組んだ。しかしながら、地盤基礎関係の被災調査では、原因調査の作業が復旧作業と同時に進行するものも多く、また検討構造物によっては、被害状況や被害調査に関するデータを入手することが困難な場合も少なくなかった。また解析手法も構造物の違いによって大きく異なる場合が多く、各研究部会ではそれぞれ独自の研究ペースならびに手順を選択することによって、基本的には先の図に示した研究の流れを考慮して最終成果のまとめに努めた。

各研究部会の研究成果は第3章から第7章に記述されている。自然地盤及び埋立地を含む造成地盤に関する被害を研究したものが第3章に、また第4章では河川堤防等の被害や臨海部の護岸構造物の被害に関する研究成果が記されている。道路及び鉄道関係の盛土構造物の被害に関する研究と通信施設用下水道や上下水道の地下埋設管の被害に関する研究が第5章に記され、農業用ため池の被害に関する研究が第6章となっている。第7章は、構造物基礎被害に関する研究をまとめたものである。その他の章については、主査会等を通じて担当委員を選任し、取りまとめにあたったものである。

なお、報告書の作成に向けては、紙面の都合もあり、表-1.1.3に示すように適宜に執筆担当者を決定して報告書各部分の執筆をお願いした。しかしながら、研究成果の取りまとめにあたっては、交代した

表-1.1.2 委員会名簿

松井 保 <sup>1)</sup>	大阪大学工学部土木工学科	谷口 親平 <sup>1)</sup>	パシフィックコンサルタンツ(株)神戸支社技術部
田中 泰雄 <sup>2)</sup>	神戸大学都市安全研究センター	玉田 正 <sup>***</sup>	銭高組(株)技術企画開発部技術システム開発課
諏訪 靖二 <sup>3)</sup>	(財)大阪土質試験所	田淵 俊幸 <sup>****</sup>	(財)大阪土質試験所
小田 和広 <sup>4)</sup>	大阪大学工学部土木工学科	辻野 修一 <sup>1)</sup>	佐藤工業(株)中央技術研究所土木研究部
新井 雅之 <sup>**</sup>	パシフィックコンサルタンツ(株)大阪支社	津島 茂樹 <sup>1)</sup>	大阪湾広域臨海環境整備センター
安藤 進 <sup>1)</sup>	鹿島建設(株)関西支店土木部	坪井 英夫 <sup>1)</sup>	不動建設(株)ジオエンジニア事業本部工務部
池田 和郎 <sup>****</sup>	大阪湾広域臨海環境整備センター工務部	坪内 雅和 <sup>**</sup>	兵庫県土木部港湾課
井田 隆久 <sup>1)</sup>	(株)銭高組技術本部技術研究所	露口 耕治 <sup>**</sup>	(株)ジオジャイロ京都支店地質部
上野 欣一 <sup>**</sup>	N T T関西設備建設総合センタ土木技術部	鶴川 洋 <sup>1)</sup>	大阪府寝屋川水系改修工営所住道工区
内田 一徳 <sup>1)</sup>	神戸大学農学部生産環境情報学科	栃本 泰浩 <sup>**</sup>	川崎地質(株)関西支社技術部
遠藤 幸一 <sup>1)</sup>	阪神高速道路公団工務部	富島 悟 <sup>**</sup>	(株)ジオジャイロ大阪支店
遠藤 成博 <sup>**</sup>	神戸市建設局総務部	鳥居 剛 <sup>1)</sup>	(株)建設企画コンサルタント土質技術部
王子 収 <sup>**</sup>	兵庫県土木部河川課	鳥越 寿彦 <sup>****</sup>	N T T関西設備建設総合センタ土木技術部
大石 富彦 <sup>1)</sup>	関西電力(株)土木建築室土木課	中川 裕司 <sup>****</sup>	N T T関西設備建設総合センタ土木技術部
大越 康史 <sup>****</sup>	運輸省第三港湾建設局神戸調査設計事務所	中木 秀一 <sup>1)</sup>	(株)奥村組本社土木設計部
岡 米男 <sup>****</sup>	日本道路公団大阪建設局構造技術課	中平 明憲 <sup>1)</sup>	(株)建設技術研究所 大阪支社道路本部
岡下 勝彦 <sup>1)</sup>	(財)神戸港埠頭公社工務部	長山 喜則 <sup>1)</sup>	ジェイアール西日本コンサルタンツ(株)技術部
尾儀 一郎 <sup>1)</sup>	日本技術開発(株)大阪支社環境防災部	西川 輝實 <sup>****</sup>	大阪湾広域臨海環境整備センター
沖村 孝 <sup>1)</sup>	神戸大学都市安全研究センター	西本 光宏 <sup>****</sup>	関西国際空港(株)技術部技術一課
奥田 剛章 <sup>1)</sup>	(財)大阪港開発技術協会	野田 洋 <sup>**</sup>	不動建設(株)ジオエンジニアリング事業本部
奥村 一郎 <sup>1)</sup>	N T T関西設備建設総合センタ土木技術部	濱田 泰弘 <sup>**</sup>	関西国際空港(株)技術部技術一課
小野 諭 <sup>1)</sup>	中央開発(株)大阪事業部	濱田 晃之 <sup>**</sup>	(財)大阪土質試験所
河西 寛 <sup>**</sup>	鴻池組(株)土木本部土木設計部	早川 清 <sup>1)</sup>	立命館大学理工学部土木工学科
金崎 保 <sup>**</sup>	兵庫県神戸土木事務所	林 健二 <sup>1)</sup>	中央復建コンサルタンツ(株)調査技術部
鎌田 敏正 <sup>****</sup>	N T T関西設備建設総合センタ土木技術部	原田 健二 <sup>**</sup>	不動建設(株)ジオエンジニアリング事業本部
川上 圭二 <sup>****</sup>	新日本製鐵(株)大阪支店建材開発技術室	東 祥二 <sup>**</sup>	不動建設(株)ジオエンジニアリング事業本部
河原 繁夫 <sup>1)</sup>	新日本製鐵(株)大阪支店建材開発技術グループ	東 忠雄 <sup>**</sup>	兵庫県企業庁開発課
岸田 隆夫 <sup>1)</sup>	東亜建設工業(株)技術研究所	東尾 啓司 <sup>**</sup>	鹿島建設(株)土木部設計課
北村 八朗 <sup>1)</sup>	大阪ガス(株)エンジニアリング部	藤岡 正男 <sup>1)</sup>	日本道路公団大阪建設局構造技術課
木村 亮 <sup>1)</sup>	京都大学大学院工学研究科	藤原 吉美 <sup>****</sup>	関西電力(株)土木建築室土木課
国富 和真 <sup>**</sup>	鴻池組(株)土木本部土木設計部	星野 一永 <sup>**</sup>	川崎地質(株)関西支社技術部
久保田 晃司 <sup>1)</sup>	阪神電気鉄道(株)鉄道事業本部鉄道企画部	本田 周二 <sup>1)</sup>	(株)日建ソイルリサーチ技術部
幸田 修 <sup>**</sup>	大阪湾広域臨海環境整備センター工務部	水分 登 <sup>1)</sup>	西松建設(株)関西支店土木部
小嶋 省一 <sup>**</sup>	神戸市港湾局技術部	溝端 一博 <sup>**</sup>	川崎地質(株)神戸支店
小林 俊明 <sup>1)</sup>	大成建設(株)大阪支店営業部	三田村 宗樹 <sup>**</sup>	大阪市立大学理学部地球学教室
小林 育夫 <sup>1)</sup>	(株)鴻池組土木本部土木設計部	南 兼一郎 <sup>****</sup>	運輸省第三港湾建設局神戸調査設計事務所
坂上 敏彦 <sup>1)</sup>	川崎地質(株)関西支社技術部	三村 衛 <sup>1)</sup>	京都大学防災研究所
佐々木 良作 <sup>1)</sup>	兵庫県土木部河川開発課	村上 考司 <sup>1)</sup>	大林組(株)本店土木工事計画部
佐藤 寿延 <sup>1)</sup>	国土庁大都市圏整備局計画課	村田 英人 <sup>1)</sup>	N T T関西設備建設総合センタ土木技術部
佐俣 千蔵 <sup>1)</sup>	神戸市交通局技術部	望月 秋利 <sup>1)</sup>	大阪市立大学工学部土木工学科
澤藤 尚文 <sup>1)</sup>	大成建設(株)大阪支店土木部	森田 伸二 <sup>**</sup>	兵庫県土木部砂防課
穴戸 達行 <sup>1)</sup>	運輸省第三港湾建設局神戸調査設計事務所	森田 真 <sup>***</sup>	パシフィックコンサルタンツ(株)震災復興部
篠原 正義 <sup>1)</sup>	神戸市港湾整備局技術部工事課	柳浦 良行 <sup>1)</sup>	基礎地盤コンサルタンツ(株)関西支社技術部
渋山 晴夫 <sup>****</sup>	運輸省第三港湾建設局神戸調査設計事務所	安川 郁夫 <sup>1)</sup>	(株)ジオジャイロ
島田 健一 <sup>****</sup>	建設省近畿地方建設局淀川工事事務所	安田 扶律 <sup>1)</sup>	阪神高速道路公団工務部
清水 文夫 <sup>1)</sup>	清水建設(株)神戸支店	柳原 純夫 <sup>**</sup>	(株)奥村組本社土木部
下川 和夫 <sup>**</sup>	東亜建設工業(株)大阪支店神戸営業所	八尋 明彦 <sup>1)</sup>	関西国際空港(株)技術部設計課
庄 健介 <sup>1)</sup>	阪急エンジニアリング(株)土木部	山崎 聡一 <sup>**</sup>	神戸市建設局道路部
鈴木 慎也 <sup>****</sup>	関西国際空港(株)技術部技術一課	山田 耕一郎 <sup>1)</sup>	神戸市港湾整備局新都市整備本部
須内 寿男 <sup>****</sup>	(株)ジオジャイロ地質部	山村 真由子 <sup>**</sup>	(株)日産技術コンサルタント技術本部
高宮 正英 <sup>****</sup>	大成建設(株)大阪支店土木部	山本 嘉一郎 <sup>1)</sup>	光華女子短期大学情報教育センター
武石 朗 <sup>1)</sup>	国際航業(株)関西事業本部地質部	山本 谷晶 <sup>**</sup>	兵庫県農林水産部農地整備課
立石 卓彦 <sup>1)</sup>	日本技研(株)	山本 彰 <sup>**</sup>	(株)大林組技術研究所土木第一研究室
田中 敏彦 <sup>1)</sup>	応用地質(株)滋賀支店	渡部 昭一 <sup>****</sup>	大成建設(株)大阪支店土木部

記号：1)委員長、2)代表幹事、3)幹事、4)連絡幹事  
 \*：委員、\*\*\*：旧委員、\*\*：ワーキングメンバー、  
 \*\*\*\*：旧ワーキングメンバー

委員・ワーキングメンバーというまでもなく、前出の委員会表には記載されていない研究協力者を含め、これまで委員会活動に参加していただいた全員の方々のご協力によって完成したものであり、ここに厚く御礼申し上げる次第である。また、前述のように被害データの収集にあたっては、実に多くの行政管理機関や民間団体の方々から多大なるご協力を得た。ここに深く御礼申し上げる次第である。

表-1.1.3 執筆者一覧

執筆者部	執筆者一覧
1章	松井 保(1.1)、田中泰雄(1.1)、諏訪靖二(1.1)、山本嘉一郎(1.2)
2章	諏訪靖二、三田村宗樹、濱田晃之
3章3.1節	沖村 孝(3.1.1)、山本 彰(3.1.2)、村上考司(3.1.2)、森田伸二(3.1.3)、金崎 保(3.1.3)、小野 諭(3.1.4)
3章3.2節	鶴川 洋(3.2.1)、諏訪靖二(3.2.1、3.2.5)、濱田晃之(3.2.1、3.2.5)、三田村宗樹(3.2.2、3.2.4)、坂上敏彦(3.2.3)、武石 朗(3.2.3)、清水文夫(3.2.3)
3章3.3節	山田耕一郎(3.3.1、3.3.2)、野田洋(3.3.1、3.3.4、3.3.5)、富島 悟(3.3.1)、津島茂樹(3.3.1、3.3.4)、濱田泰弘(3.3.1)、早川 清(3.3.3)、三田村宗樹(3.3.2、3.3.4、3.3.6)、坪井英夫(3.3.4、3.3.5、3.3.6)、原田健二(3.3.4、3.3.5)
4章4.1節	三村 衛、佐々木良作、田中敏彦、佐藤寿延、王子 収、島田健一
4章4.2節	柳浦良行(4.2.1)、水分 登(4.2.1)、田中泰雄(4.2.1)、岸田隆夫(4.2.2)、下川和夫(4.2.2)、奥田剛章(4.2.3)、東 祥二(4.2.2)、穴戸達行(4.2.3)、坪内雅和(4.2.3)、篠原正義(4.2.3)、東 忠雄(4.2.3)
5章5.1節	安川郁夫(5.1.1)、長山喜則(5.1.2、5.1.3)、国富和真(5.1.2、5.1.3)、溝端一博(5.1.3)、河西 寛(5.1.3)、山村真由子(5.1.3)、庄 健介(5.1.4)、佐俣千載(5.1.5)
5章5.2節	奥村一郎(5.2.1)、村田英人(5.2.1)、望月秋利(5.2.2、5.2.3、5.2.4)、小林俊明(5.2.2)、澤藤尚文(5.2.2、5.2.3)、新井雅之(5.2.4)
6章	内田一徳(6.1、6.2)、辻野修一(6.3)、鳥居 剛(6.3)、山本谷晶(6.4)、安藤 進(6.5)、東尾啓司(6.5)
7章	小田和広(7.1.1、7.1.2、7.1.4)、本田周二(7.1.3)、安田扶律(7.2.1)、岡下勝彦(7.2.2)、河原繁夫(7.2.3)、大石富彦(7.2.4)、柳原純夫(7.2.5)、木村 亮(7.3、7.4)
8章	松井 保、田中泰雄、諏訪靖二
9章	松井 保、田中泰雄、諏訪靖二

## 1.2 被災状況についてのアンケート調査と分析結果

### 1.2.1 調査の概要

本調査は、阪神・淡路大震災における地盤や構造物の揺れや破壊について、目撃者による情報を収集・整理することを目的として実施したものである。本節では収集した情報とこれを整理・分析して得られた知見について報告する。

今回の震災は未明に起こり、多くの被災者が睡眠中であったため、地震中あるいは地震直前・直後の状況についての目撃者が限られている。とくに、有力な目撃情報が期待できるような屋外で活動中の人は少なかったと考えられる。そこで本調査では、この時間に勤務中であった可能性が高いと考えられる新聞配達員の方々に着目し、アンケート調査を行うことにした。調査は、調査票を新聞販売店に送付し、各店で販売員に配布・記入・回収の後、まとめて返送していただく方法で行った。神戸市およびその周辺都市の新聞販売店に依頼し、288件の回答を得た。調査項目の概要は表-1.2.1のとおりである。

表-1.2.1 調査票の項目

分類	質問項目	備考
回答者の属性	性別、年齢	
	場所	自宅、会社、路上等
地震発生時の所在と状態	位置	地理的位置および住所
	所在階	所在が屋内の場合
	地震発生時の回答者の状態	
所在建築物の状況	構造、階数、建築年数	所在が屋内の場合
	揺れの程度	〃
建物の揺れと被災状況	被害	〃
	重い家具の動き	〃
	食器類や窓ガラス・戸・障子の動き	〃
	建物や家具の倒壊方向	〃
	周りのものの動き	所在が屋外の場合
屋外での状況	乗り物の運転状況	〃
	地震の知覚とその理由	〃
	地震の感じ方	
地震の感じ方	継続時間	
	揺れの形態	
地盤や建物の特異な現象	地鳴り	
	液状化	
	構造物の揺れ、倒壊	
	地盤の揺れの視認	
	地盤の変状	
付近の被害	地震後の付近の状況	
特異現象	特異現象	地盤・構造物以外

### 1.2.2 調査結果

#### (1) 回答者とその属性

回答者の職業はすべて、新聞配達員である。総数 288 名のうち、男性が 162 名で女性が 124 名、無答による不明が 2 名である。年齢構成は、40 歳代が最も多く全体の約 1/3 を占め、次いで 50 歳代が多く、40 歳代と合わせて全体の約 60% を占める。

#### (2) 回答者の地震発生時における所在

図-1.2.1 は地震時における回答者の所在地点の分布である。約半数が須磨区から東灘区の神戸市および芦屋、西宮市の被災が大きかった地域に、残りはその北西部に

分布する。これらをそれぞれ、南東部と北西部と呼ぶことにし、本報告で地域による相違を分析する際に使用することとする。ただし須磨区については南北に 2 分し、北部は北西部に南部は南東部に入れることとした。所在地点は地図上での指示と住所で回答を得たが、図-1.2.1 は地図上での回答が得られたもののみ示している。

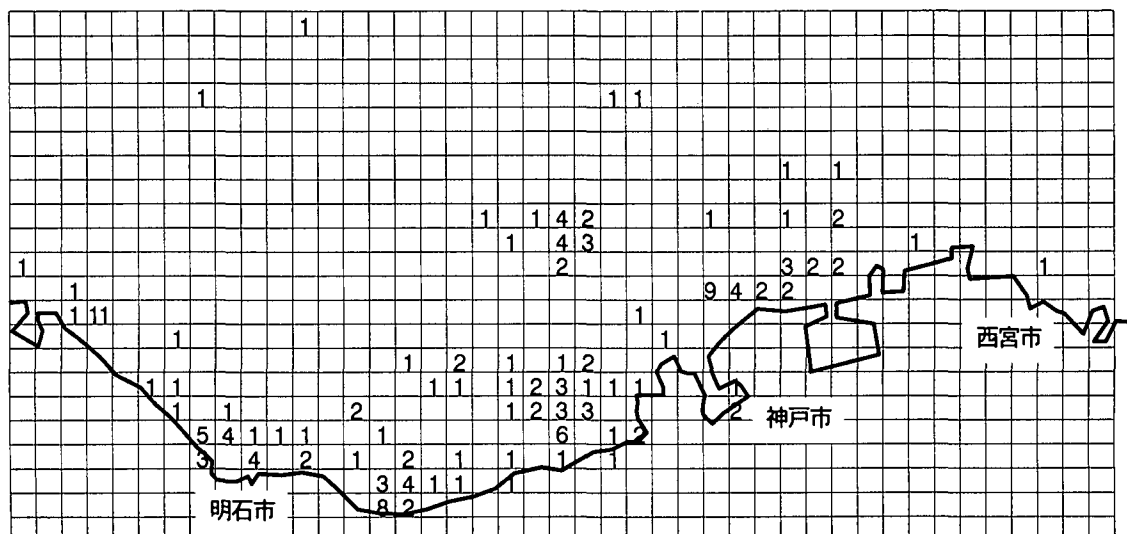


図-1.2.1 回答者の所在分布（セル内の数値は回答件数）

地震時の居所は、自宅が最も多く全体の約 2/3 で、何らかの建物内に居た人が約 80%と大半である。路上に居た人は約 20%で、残念ながら屋外での目撃者からの情報を多数得るには至らなかった。

屋内で地震に遭遇した人達が居た建物の構造は、木造が約半数で、鉄筋コンクリートと鉄骨コンクリートが残りを占める。木造のほとんどは 2 階建てで、鉄筋コンクリートおよび鉄骨コンクリート造りでは 3~5 階建ての中層建築物が半数を超え、10 階建て以上の高層建築物はその 15%程度である。

地震時の所在階は、木造では 1 階と 2 階がほぼ同数で 1 階がやや多い。中・高層の建物では 1 階が最も多く 5 階までが大半である。

### (3)地震発生時の回答者の状況

地震発生時の回答者の状況は、睡眠中の人最も多く横臥状態の人を含めると半数近くになる。残りの大部分は朝の生活活動中であった。そのほとんどは自宅に居た人達である。会社や路上に居た人達の大半は仕事中であった。自宅に居た人の中にも仕事中的人があるが、これは職場が自宅内にあるケースと考えられる。

### (4)屋内での被災状況

屋内で地震に遭遇した人たちによる建物の揺れの程度と被害状況および家具の動きの報告について、図-1.2.2 のように整理した。これによると、建物の揺れは大半が「激しくゆれた」あるいはそれ以上となっている。建物にもかなりの被害が出たものがあり、内部の家具類については大半で大きな被害を生じている。これを地域別に見ると、南東部の方が北西部より建物の揺れ、被害ともに大きい。家具の動きは建物ほど明瞭ではないが、やはり南東部の方が大きい傾向がある。

これによると、建物の揺れの程度や被害が極度に小さいもの、あるいは家具の動きがほとんど見られないものがある。調査地域における震度を考えると、これらは特異な状況と判断されるが、調査内容からはその理由は明らかにできない。ただ多くは神戸市垂水区から西あるいは神戸市北部のもので、調査地域の中でも比較的震度の低い地域にあり、その特異性はそれほど高くないと考えられる。

建物の構造別に屋内での被災状況を見ると、建物の揺れの程度と被害状況は木造建築物で大きい傾向がみられる。一方、家具の動きについては、建物の構造による相違は顕著ではない。また、家具の倒壊方向を先に設定した地域別に集計してみると、全体としてはとくに方向性は見られないが、南東部では南北方向が卓越し、北西部では南北を除く方向が卓越する傾向が見られる。

### (5)屋外での被災状況

屋外で遭遇した人々による地震時の状況についての報告では、周囲のもの動きに対する観測状況で、

「かなり激しくゆれていた」あるいはそれ以上の大きな異常が観測されている。運転に対する支障状況を乗物別に集計したものと、運転していた乗物はバイクまたは自転車で、ほとんどの人が運転不能を感じて止めている。屋外で地震と判断した時点とその理由については、即座に地震と判断した人が大半で、多くは大きな揺れにより判断しているが、地鳴りにより判断している人もかなりある。その後判断した人も周囲の異常な状況により判断しており、異常を認めなかった人はほとんどない。

### (6)地盤および構造物にみられた異常についての目撃

地震に伴って発生する地盤の異常について、地鳴り、液状化、構造物の揺れや倒壊、地盤の揺れ、および地盤の変状（地滑り、沈下、地割れなど）に関する報告を求めた。これによると、地鳴りを聞いた人が多く、全体の約 1/4 の人が聞いている。液状化や地盤の揺れもそれぞれ 10 人前後の人が目撃している。これらの現象の目撃は屋内からは困難なことを考えると、屋外に居た人約 50 名中の割合なので、かなりの高率で目撃されていると言える。

地震後に目撃された付近での被害の状況によると、相当に大きな被害を含めてさまざまな被害が目撃されている。

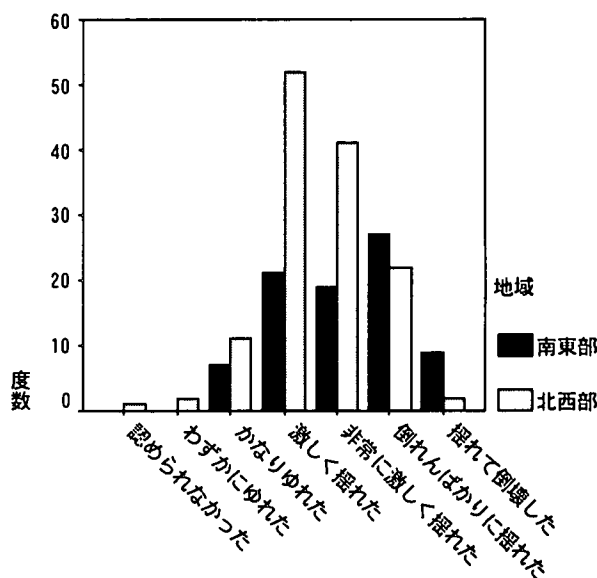


図-1.2.2 家（建物）の揺れの程度

以下、各異常についてその特徴を述べる。

a) 地鳴りについて

地鳴りを聞いた人は 70 人ある。地鳴りの音については「ゴー」という表現での報告が大半である。「地底から聞こえてきた」というように「下から」とする報告が多いが、方角では「南から」という報告が多い。その継続時間については、数秒から 10 秒程度あるいは「短かった」とする比較的短時間との報告が多いが、中には 1、2 分あるいは「長かった」とするものも相当数ある。また、地震との前後関係については明確でないものが多いが、いくつか「地震の前」とする報告がある。

b) 液状化について

液状化の目撃は 9 件ある。そのほとんどで、砂泥や水の噴出が目撃されている。噴出の発生時点は、1 件を除いて「地震発生直後」としており、継続時間は「ある程度継続」とする報告が多く、数分から 5 分程度としている。

c) 建造物の揺れと倒壊について

21 件の報告がある。その大半は家屋の揺れや倒壊であるが、電柱や樹木についての報告もある。倒壊に至ったケースでのその発生時点は、「地震の最中」が最も多く、大半は地震の直後までに倒壊している。「しばらくして倒壊」との報告は 3 件である。

d) 地盤の揺れについて

地盤の揺れについては 13 件の目撃がある。目撃場所は道路上などが大半である。揺れの状況は波状とする報告が大半で、揺れの方向は縦、横ともに報告されているが、縦方向とする報告がやや多い。

e) 地盤の変状について

地盤の変状について、地滑り、地盤沈下、地割れなどの現象が見られたかを質問した。地滑り 2 件、地盤沈下 14 件、地割れ 22 件の報告があった（複数回答可）。

(7) 地震の揺れの形態と継続時間

揺れの継続時間とその形態についての感じ方について、南東部と北西部に分けて集計を行った。揺れの継続時間については、大半が「長かった」以上であり、この地震の揺れを相当に長く感じた人が多い。揺れの形態については、「突き上げるような揺れ」や「強い上下動」が多く、本調査対象地域では、横揺れに比べて圧倒的に縦揺れとしての印象が強かったことが分かる。また、揺れの形態、継続時間も南東部と北西部での差異はほとんど認められない。

1.2.3 屋内震度の要因分析

ここでは、屋内での揺れと被害の程度を「屋内震度」と定義する。屋内における震度は、地震動の強さが直接影響する地域による相違との関連がもっとも大きいものと考えられるが、さらに建築物の構造、建築物の高さ、建築年数、所在階にも影響されると考えられる。ここでは、これらの要因による影響の有無と程度を、要因分析によって考察する。

(1) 屋内震度の要約

屋内における震度に関連しては、建物の揺れと被害および家具類の動きの合わせて 4 項目の調査結果が得られている。これを要約して「屋内震度」の指標を得るため、主成分分析を実施した。その結果、1 つの主成分でこれら 4 項目のもつ情報の相当部分を表す指標が得られた。この手続きは、主成分値としてこれら 4 項目を 1 つの値に集約することに相当し、この値の分布はほぼ正規分布を示す。この値の基になっている 4 項目との関係から解釈すると、負の値は屋内震度が小さいことを、正の値は大きいことを表すと理解することができ、屋内震度の総合指標として使用して差し支

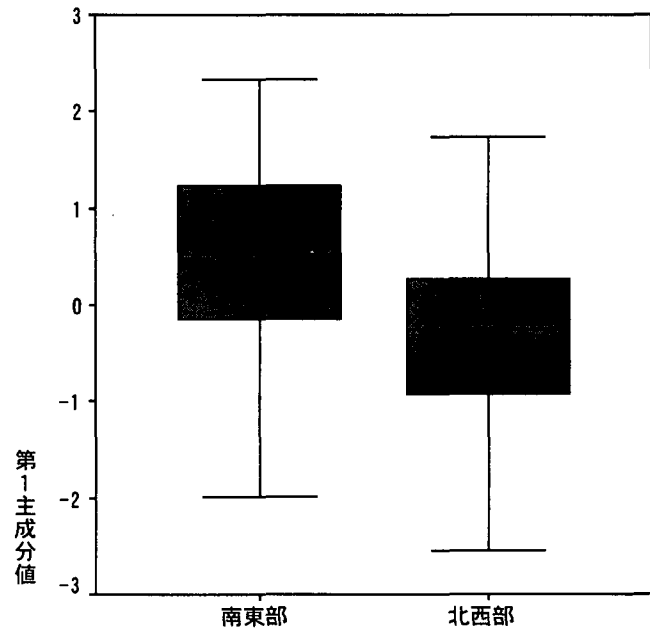


図-1.2.3 地域別に見た第1主成分値

えないようである。

図-1.2.3 と図-1.2.4 は地域別に屋内震度の分布を箱ひげ図で表したものである。箱は 25%から 75%の範囲を、箱の中の横線は中央値を示す。箱の上下から箱の 1.5 倍以上離れた値を外れ値、さらに 3 倍以上離れた値を極値と呼ぶ。これらの値を除く最小値と最大値の位置までひげが引かれている。これらの図によると、屋内震度は地域による差が明瞭であることが分かる。図-1.2.3 について平均値の差を  $t$  検定により検定すると有意率は 0.001 以下であり、その差が認められる。同様に、建物の構造、高さ、建築年数、所在階などについても差異が認められる（分析結果は省略）。

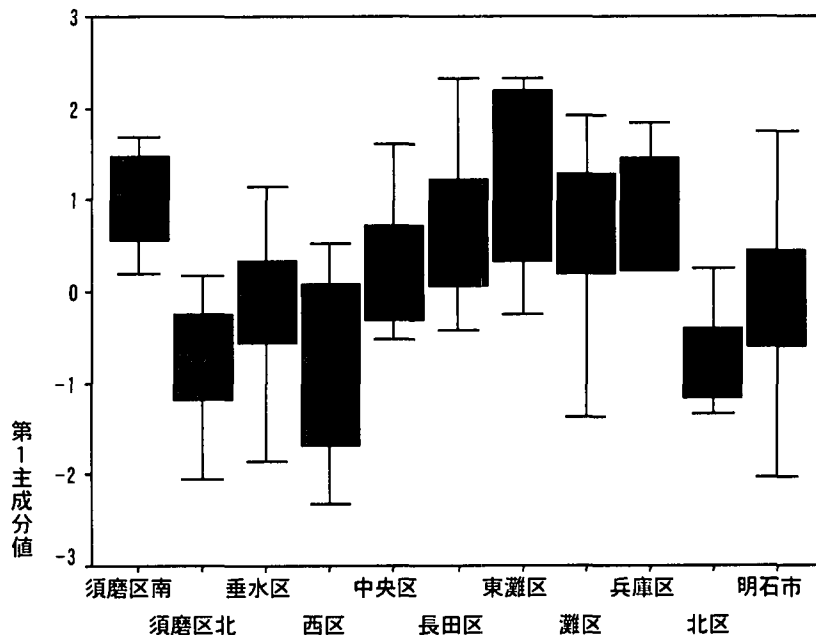


図-1.2.4 地域別に見た第1主成分値

(2) 要因分析の方法と結果

分析には数量化理論 I 類<sup>1)</sup>を使用する。上記のようにして主成分分析により求めた室内震度（従属変数）を地域、建築物の構造、築年数および所在階の 4 つの項目（独立変数）から推定するという一種の重回帰モデルを考える。このときの各独立変数のカテゴリーに与えられる係数および偏相関係数から、これらの 4 つの項目が室内震度に与える影響を考察する。各項目のカテゴリーは次のように設定した。

- 地域 南東部、北西部
- 構造 木造、RC、SRC
- 築年数 最近～9年、10年～19年、20年～29年、30年以上
- 所在階 2階まで、3～5階、6階以上

ここで「建物の高さ」を除外したのは、建物の構造との関連が非常に高く、ほとんど同じ情報を与えることになるからである。

この回帰モデルは次のように表現される。

$$y_i = b_0 + \sum_j \sum_k \delta_i(jk) x_{jk}$$

$y_i$  は従属変数（ここでは室内震度）、 $b_0$  は総平均、 $x_{jk}$  は  $j$  番目の変数の  $k$  番目のカテゴリーに割り当てられる係数（重み）である。また  $\delta_i(jk)$  は  $i$  ケースにおいて、 $j$  変数の値が  $k$  カテゴリーに該当するときに 1 になり、それ以外では 0 となるような係数である。

分析の結果は表-1.2.2 のとおりである。カテゴリーに割り当てられた係数（重み） $x_{jk}$  の値、カテゴリーごとの  $x_{jk}$  の範囲、偏相関係数、および重相関係数を示している。重相関係数はこのモデルのあてはまりの良さ、つまりこのモデルによる従属変数の予測の良さ、あるいは要因に

表-1.2.2 数量化理論解析結果（カテゴリーに割り当てられて係数）

項目	カテゴリー	数量化値 $x$	$x$ の範囲	偏相関係数
地域	南東部	.4886	0.7747	.4014
	北西部	-.2861		
構造	木造	.0754	0.1491	.0761
	鉄筋コンクリート造	-.0737		
築年数	最近～9年	-.4126	1.0400	.3490
	10～19年	-.0990		
	20年～29年	.0423		
	30年以上	.6274		
所在階	2階以下	-.0572	0.4339	.1214
	3～5階	.1257		
	6階以上	.3767		

重相関係数 : 0.5757



よる屋内震度の違いに対する説明力の程度を示す指標の1つである。その値は0.5350と比較的高く、これら4つの変数で屋内震度がかなり予測(説明)できることを示している。 $x_{jk}$ の値によると、各独立変数の影響について次のように見ることができる。地域については、南東部で高く北西部で低い。建築物の構造については、木造で高くコンクリート造りでは低くなる。ただし、その差は他の変数にくらべてかなり小さい。所在階については高層階ほど屋内震度は大きくなる。築年数は、長いほど屋内震度を大きくする方向に働く。このようにいずれも実感と一致している。

各変数の屋内震度に与える影響の度合いは $x_{jk}$ の範囲と偏相関係数から考察できる。範囲と偏相関はいずれも同様の傾向を示している。範囲は「築年数」、「地域」、「所在階」、「構造」の順である。各独立変数と従属変数(屋内震度)との間の偏相関係数は、他の条件(独立変数)が同じとしたときの各独立変数と従属変数の間の相関を表している。「地域」、「築年数」、「所在階」、「構造」の順となっていて、「地域」と「築年数」では大きく、「構造」では小さい。範囲と偏相関係数を総合すると、「地域」および「築年数」の影響が大きいと考えられる。所在階がこれらに続き、建築物の構造はこれらに比べると影響は大きくないといえる。

#### 1.2.4 特異現象

過去の大地震において、さまざまな特異現象が報告されている。いわゆる宏観異常現象<sup>2)</sup>と呼ばれるものである。今回の震災については、弘原海が調査し多くの事例を報告している<sup>3)</sup>。本調査においてもこの種の現象についていくつかの報告がある。表-1.2.3はこれをまとめたものであり、合計23件の報告がある(複数回答可)。地鳴りなどの音や空の色や明るさの異常が事前に観測されたほか、発光現象が地震に伴って多く観測されている。

表-1.2.3 地震に伴う特異現象の報告

異常現象	報告件数
雲	1
音	5
海	1
空	6
月	1
動物	3
発光	6

#### 文献

- 1) 垂水共之他：新版 SPSSX II 解析編 1、東洋経済新報社、1990.
- 2) 力武常次：地震前兆現象、東京大学出版会、1986.
- 3) 弘原海清：前兆証言 1519、東京出版、1994