

## 2. 土構造物の地震時許容変形に関する調査研究

### 2.1 研究の目的

まえがきで述べたように、耐震設計で安全率が1より大きいことを要求していると、設計地震動が増大し続けるうちに、もはや土には負担できない水準に至ってしまう可能性がある。ここでは例として仮に、地表面まで水で飽和した水平地盤を考える。また、最大加速度 $A_{\max}$ がそのまま震度 $k_h = A_{\max} / g$ になる、という簡単な議論を行なってみる。地震時に発生するせん断応力 $\tau$ はせん断強度より小さくなければならない、というのが安全率に基づく従来の考え方であるから、過剰間隙水圧が一切発生しない、としてみても、

$$\text{地中のせん断応力 } \tau = k_h \gamma z \leq (\gamma - \gamma_w) z \tan \phi \quad (1)$$

という条件の成立が、安定性確保のために必要になる。ここで $g$ は重力加速度、 $\gamma$ と $\gamma_w$ はそれぞれ土と水の単位体積重量、 $z$ は深さである。 $\gamma$ として $19\text{kN/m}^3$ を代入すると、最大加速度が600ガルの時に $\phi$ として52度、800ガルなら60度という値が要求され、かなりの地盤改良を実施しなければならないことが窺える。震度 $k_h$ を軽減して $k_h = (A_{\max} / g)^{1/3} \div 3^1$ を使っても、過剰間隙水圧が50%程度発生するなら強度の減少が著しく、最大加速度800ガルに対して53度という大きな内部摩擦角が要求されてしまう。このような状況が続けば土構造物の新たな設置は困難になり、自然斜面でさえ全面的な補強が必要になってしまう。

工学材料としての土の弱点は、他の材料に比べて強度が小さいことである。しかし他方では、安価であるとともに壊滅的な崩壊を起こしにくく、補修がたやすい、という面もあり、これを長所として利用すべきである。図2.1-1は1999年の集集地震に際して断層直上に位置していた霧峰の河川堤防の被災状況である。これは大変形であることには間違いないが、同じ地震で断層直上にあった多くの橋や建物が崩壊したほどの、壊滅的被害ではない。そして地震から半年たった時点で図2.1-2のように、簡単に補修が終わっていた。このような容易な修復は、堤防が簡単な形をしていることも原因の一つであるが、鋼やコンクリートとは異なる土の特質でもある。迅速に修復できることも重要な性質である。



図2.1-1 1999年の台湾集集地震で断層直上にあつて被災した霧峰の河川堤防の状況



図2.1-2 霧峰の河川堤防が半年後に修復された姿

容易かつ迅速な復旧が可能である、という土構造物の特質を考えれば、耐震設計において強大な設計加速度を採用し、それに対して安全率 $>1$ を要求し続けることは、必ずしも唯一正しい選択ではない。現に、従来から河川堤防では、地震によって被災したとしても二週間以内（実際には多くの場合に数日以内）に修復できる、という体制作りがなされてきた。地震と洪水の同時生起確率がきわめて小さい、という工学的判断に立てば、堤防の地震時変状は十分許容できるもの（すぐに直せば良い）と考えられてきたのである。そして1995年に淀川河川堤防が大変状を被った後においてすら、背後のゼロメートル地帯に浸水さえ起こさずに済むならば、ある程度の地震時変形は許容できる、と考えられている。いたずらに費用を投じて不必要に頑丈な堤防を築くことを回避しよう、という考え方である。

設計地震動が強まる時代を迎え、せん断強度に限界のある土構造物は、許容応力と安全率に基づく従来の設計思想の下では、存在できなくなっていく。しかし土構造物が存在できない、というのは決して合理的な淘汰現象ではない。壊滅的崩壊を起こしにくい、そして修復が容易である、という土構造の特性はむしろ、今後の耐震設計思想の行き方に適合するものがある。今後の土構造の耐震設計に必要なのは、強い震動の下でも安全率 $>1$ という制約にこだわることを止め、ある程度の変形（許容変形）の発生を認めながら壊滅的な災害を避けつつ迅速な復旧体制を整える、ということである。このような考え方を性能設計の一種と考えることもできようし、許容変形設計という呼び方もありうるであろう。本稿では、このような考え方を実現させるにはどのような問題があるかを考え、それを解決する道筋について議論して行く。

許容変形量に基づく土構造物の耐震設計を実用化させるためには、二つの課題がある。その第一は、設計強震動によって土構造物に発生する残留変形を推定することである。これについては別章で議論するが、詳細精密な変形解析法が必ずしも優れているわけではない。詳細精密な解析は土の変形特性についてさまざまなデータを必要とするのが普通であり、そのためには地盤調査を詳細に行なう必要が出てくるからである。一部の重要構造物を除くと、通常の河川堤防や道路盛土、鉄道盛土において不攪乱試料の採取と室内せん断実験を必要事項として課することは、およそ現実的ではない。標準貫入試験かコーンあるいはスウェーデン式の貫入試験程度の調査が、限界であろう。また地盤には不均質性が付き物であるので、

調査地点数も重要である。詳細高価な調査を一点行なうよりは、上述の貫入試験を100カ所行なった方が、よほど有用であろう。このような理由により本稿では、詳細な変形解析、たとえば弾塑性論に基づく非線形有限要素動的解析を、必ずしも最優秀な解析法ではない、と考えることにした。

第二の課題は、許容変形量の大きさの決定である。壊滅的崩壊を避ける程度の変形、迅速に修復できる程度の変形、という表現はできるものの、それが一体何cmの変形なのか、すぐには決定できない。また、他種の土構造物に設定された許容変形量をそのまま採用しても、妥当であるとは思えない。施設によって重要性、震後の復旧の緊急性には、違いがあるからである。一体どの程度の変形なら、当該土構造物にとって妥当な変形なのか、判断する方法が、いまだはっきりしていない。このような現状に鑑み本章では、土構造物一般を対象にして、許容変形量の設定の方法論を展開することにする。方法論の展開、という意味は、設計指針を構築して許容変形量の数値を他に強制することを意図していない、ということである。むしろ、許容変形量の設定に当たって方法論を持たない人々のために、考慮すべき事柄を指摘し、それらの組み合わせ方法の位置案を示すことを、目指している。しかし具体的な許容変形の数値をはじき出すことは、しようとしなかったし、できることでもない。本稿の考え方をもとにして、実際の土構造物の種類ごとに具体的な許容変形量を決定することは、それぞれの職務に就いている人々がなすべき仕事である。

## 参考文献

- 1) 野田節男・上部達生・千葉忠：重力式岸壁の震度と地盤加速度，港湾技術研究所報告，第14巻，第4号，pp.67-111，1975.

## 2.2 アンケート調査の実施

L2と称されるような地震動によって土構造物に発生する残留変形の大きさは、いくら以下なら許容できるのであろうか。人命尊重、迅速復旧、被害額の軽減など、許容残留変形値の決定に当たって重要と思われる因子は、いくつも存在する。これらの重要性、組み合わせについて権威を集めて大所高所から議論することも重要ではあろう。しかし被災した土構造物の復旧に従事した人々の体験には、委員会では語られない重要な鍵が含まれているのではないか、という考えから、本委員会では1990年代の日本国内の地震災害において、復旧関係者に郵便によるアンケート調査、および後日、直接面談による聞き取り調査を実施した。調査の最大の眼目は、許容変形の具体的な数値の決定に当たって、さまざまな因子をどのように考慮するべきか、という問題に対する意見を求めることであった。

調査対象に選ばれたのは、被災した具体的な土構造物を選びだし、その管理機関（官公庁、鉄道会社、エネルギー産業など）に所属し、かつ復旧の現場に勤務、あるいは復旧計画の立案、設計、予算確保など、なんらかの形で復旧作業の苦勞を体験された人々である。利用者側を選ばなかったのは、たとえば鉄道が不通になった場合でも、乗客にしてみればL2地震でもびくともしない鉄道盛土を要求したいのが人情であり、技術水準や経済面を無視した要求しか出てこないことをおもな理由としたからである。対象とした地盤地震災害は1995年の

兵庫県南部地震のものが大半ではあるが、1993年の釧路沖地震や1994年の三陸はるか沖地震の災害復旧関係者も、一部含まれている。また後日の直接面談を念頭に郵便のアンケート調査を始めたため、あまり多数を対象者に選ぶことはしなかった。

図2.2-1に、調査対象となった土構造物の種類分布、すなわち調査対象者の所属機関（地震当時）の分布を示した。公共機関およびそれに準ずるものが選ばれており、純粋民間企業ないし個人事業や宅地造成のような事例は含まれていない。また図2.2-2には、対象者がどのような形で災害とかかわり合ったか、を示す。一人で複数の関わり方をしている場合があるので、図2.2-1とはデータ件数が一致しない。復旧計画の立案をした担当者が多く、ついで作業の指導役、組織の管理運営者が多いことが分かる。

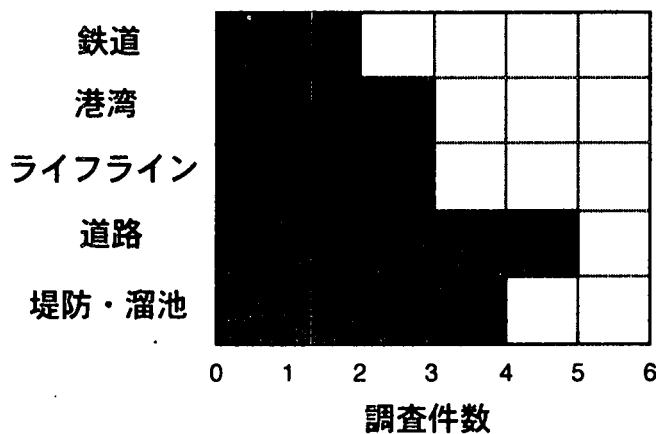


図2.2-1 調査対象被災施設の種類分布

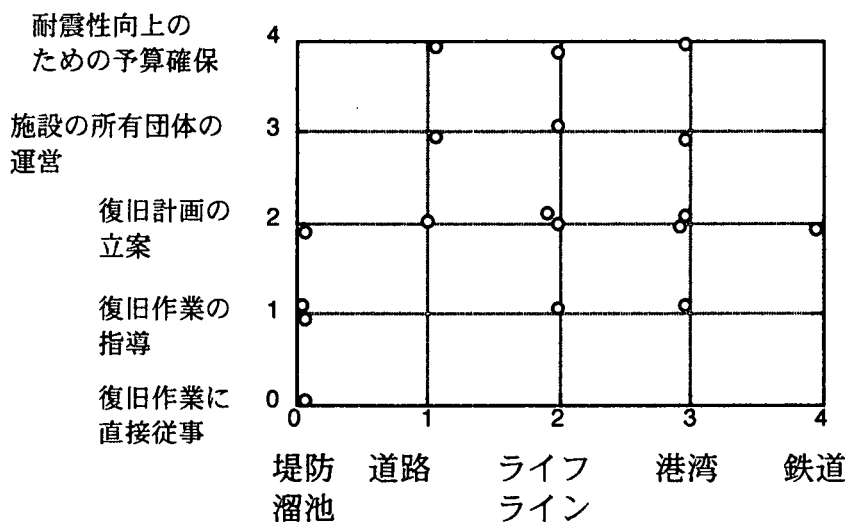


図2.2-2 調査対象者の被災との関わり方

## 2.3 アンケート調査の結果

### 2.3.1 発生変位について

次に、アンケートの回答を紹介して、これに検討を加える。またアンケートの回答を回収したのち、個々の回答者と直接面談し、文面では読み取れない考え方を聞かされたこともあった。本節ではこれらの内で重要と思われるものを紹介する。繰り返しになるが、このアンケートでは、近年の地震による土構造物の被災に際し、その復旧に関係した管理者側の技術者に、当該構造物の復旧の経験を踏まえた上で、地震時許容変形量に関する考え方を訊ねている。回答はあくまで個人的な意見であり、所属機関の公式見解ではないことを、断わっておく。そして調査サンプル数がごく少ないために、結果の統計的操作によって演繹的に結論を導き出すことも、始めから期待していなかった。むしろ、データのばらつきの範囲の、たとえば上限あるいは平均傾向に着目することにより、耐震設計論のあるべき姿を探ってみた。

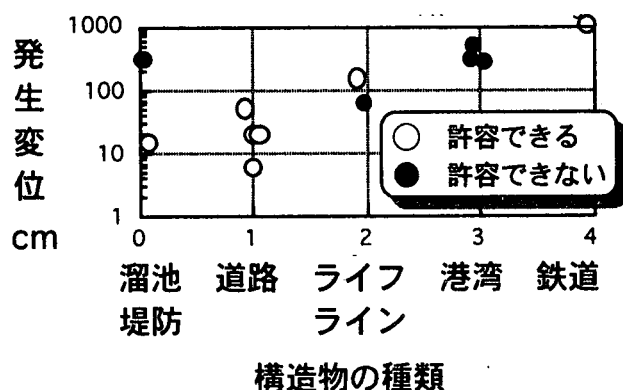


図2.3.1-1 発生変位と許容／非許容との関係

まず始めに、被災施設の種別別に、発生した被害が「復旧すれば済むことである」として許容できるかどうか、訊ねてみた。その回答を図2.3.1-1に示す。横軸には施設の種別（指数0、1、2、3、4はそれぞれ溜池／堤防、道路、ライフライン、港湾、鉄道）を表わし、縦軸の発生変位は、各施設に生じた残留変位成分（水平、鉛直）のうちで最大値を表わしている。また、図中の白丸○は、発生した変位を許容できる、と回答者が考えていることを表わし、逆に黒丸●は、許容できない、あらかじめ耐震補強などを施しておくべきであった、と考えていることを表わしている。鉄道において10mに及ぶ発生変位を「許容」していること（右上の○）が目立つが、これは高さ10mの盛土の崩壊を、「あらかじめの補強は到底無理であった、修復に依存するより他に仕方がない、」と考えている事例である。この悲観的な意見を除くと概ね、200cm以上の変位において、許容できない、という意見が多くなることがわかる。しかし100cm以下の小さな変位でも非許容とされているライフラインの例もあり、変位の大小だけで完全に割り切れるわけではない。施設ごとに重要性、地震後の緊急性において、差があるからである。

次に、発生変位の許容／非許容を、どのような理由で判断すべきか、という設問に対する答えを紹介する。回答では、人命に及ぼされる影響、機能停止と社会にかける迷惑（人命は含まない）、復旧の苦勞、復旧費用の4種の因子から、重要と思われる順に番号を付けていただいた。番号の付いていない回答もあり、必ずしも回答総数は整合していない。いずれに

せよ、その結果を表2.3.1-1に示す。これによると、人命を守ることが圧倒的に重要と考えられている。しかし多くの土構造物は人命を大量に失わせるほどの崩壊は起こしにくい。そのような大災害につながりかねないのは、自然斜面や大ダムの崩壊くらいであろう。本研究の対象である図2.2-1に挙げたような種類の構造物ならば、大変形がそのまま多くの犠牲者を出すことになる、とは考えにくい。そこで表の第二位に注目することにする。結果は、施設の機能が長期間停止することにもなう社会への迷惑が重視されていることを、示している。それに比べると復旧の苦労や費用はさほど重視されていないことが、注目を引く。

復旧費用の多寡が重要ではない、とする上述の見解には、注意が必要である。今回アンケートの対象としたのは、公共機関に勤務する技術者が大半であった。たとえば私鉄に所属する技術者は回答者に入っておらず、この点が「費用」に関する重要性が低くなってしまった原因ではないだろうか。回答者の一人からも、復旧の国庫補助がなかったなら、人命の次に復旧費用を重視したはずだ、という意見が寄せられた。したがって本アンケートから引き出される議論は、基本的に公共施設を対象としている、と考えるべきである。

表2.3.1-1 発生変位の許容／非許容の判断基準

|         | 因 子 |        |       |       |
|---------|-----|--------|-------|-------|
|         | 人命  | 社会への迷惑 | 復旧の苦労 | 復旧の費用 |
| 最重要： 1位 | 14  | 3      | 0     | 1     |
| 2位      | 1   | 12     | 0     | 1     |
| 3位      | 1   | 0      | 4     | 7     |
| 4位      | 0   | 0      | 7     | 5     |

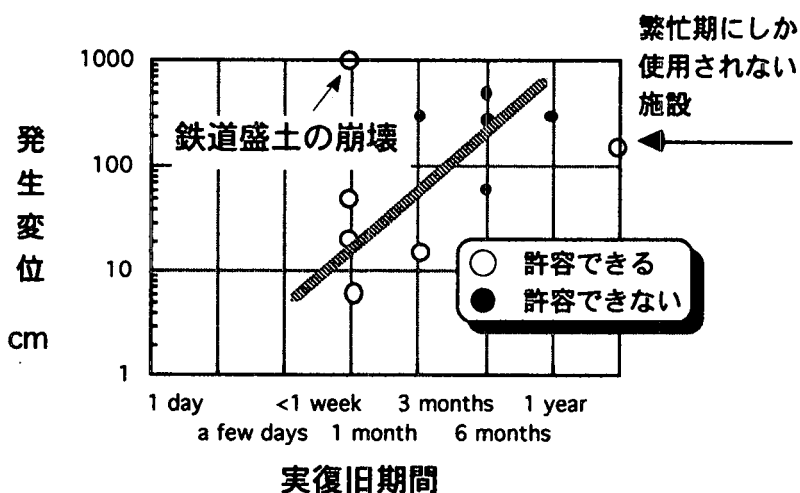


図2.3.1-2 発生変位と実復旧期間との関係

次に、発生変位量に関するさまざまなグラフを紹介する。図2.3.1-2には、発生変位と復旧に要した期間（施設が一応の機能を回復した、という意味では、仮復旧期間を採用し、実際に復旧に要した期間という意味で、実復旧期間と称する）の関係を描いた。実復旧期間は、後述する許容復旧期間とは反対の概念である。図によれば、許容／非許容が復旧に要した期間によって（1～3カ月以下と以上）とで、かなりはっきりと分かれている。復旧作業が長期にわたれば、当該施設は長期間機能を停止していることになり、社会から期待されている使命が果たせないままになってしまう。このようなことが表2.3.1-1で社会にかける迷惑として、意識されたのであろう。なお図2.3.1-2で、一年以上復旧に要しながら、なお許容できる、と回答している例がある。これはやや特殊であり、一年の内の真夏の繁忙期にしか使用されない施設であった。1月の兵庫県南部地震発生から半年後の夏までに復旧できなかった以上、翌年の繁忙期までに機能回復すれば1年を越える復旧期間も長いとは言えない、という判断がされたのであろう。

図2.3.1-2の斜め直線は、おおよその傾向を示したものである。発生変位が大きかった場合ほど復旧に長い時間を要したことが、窺える。この正の相関は、あとで利用する。

施設によっては、復旧より前に代替機関が供用されて社会への使命が再開できるものがある。たとえば、道路橋（の取り付け盛土）が変状して通行が停止されても、隣接する橋へ迂回できる、といった状況である。このような事情を考慮して、図2.3.1-3では、発生変位と代替機関の供用開始までの時間との関係を調べてみた。ここでもふたたび、機能再開までの機関が重要であることが示されており、概ね1カ月以内に代替機関によって機能が再開できるならば、当該施設の変位は「修復すれば済むこと」として許容され、特別な耐震の手段が必要とは考えられていない。

ここで、すでに表2.3.1-1で否定された因子ではあるが、費用と発生変位との関係を見しておくことにする。ここで費用としては、同じ施設を、今、新設するのに要する費用を、概略訊ねてみた。なお当然のことながら、被災に関係のない用地取得費は含まれていない。図2.3.1-4によれば、許容／非許容の差は金額には関係なく決まっていることがわかる。発生した変位の大小の方が、許容／非許容の判定におよぼす影響が強い。このように、公共機関に所属している今回の回答者は、復旧費用を第一義的に重要な因子とは考えていない。

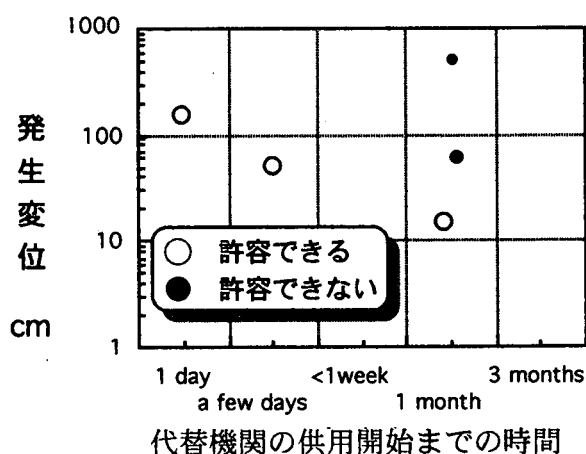


図2.3.1-3 発生変位と代替機関供用開始までの時間との関係

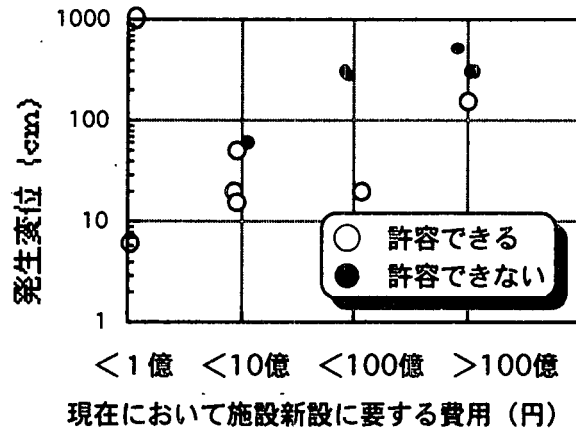


図2.3.1-4 発生変位と施設新設費用との関係

施設の機能停止が社会に及ぼす迷惑のなかには、機能停止の期間に加えて、影響を受ける地域の広さも含まれているはずである。同じ一カ月の機能停止であっても、都道府県規模の地域に影響する場合の方が、一市町村にしか影響しない場合より、事態は深刻であろう。このような考えに基づき、発生変位と影響地域の広さとの関係を図2.3.1-5に描いてみた。鉄道盛土の崩壊例では10mの変位が許容範囲に入っている。しかしこれはあくまで回答者の個人的見解であり、今後の鉄道関係の共通認識としては、復旧の容易さを重視して50cm程度を許容変位の上限とすることになりそうである。そこでこのデータを除外して考えてみる。先の図2.3.1-1では概ね200cm以上の変位が許容されなくなるようにも見えたが、この図によれば○と●との境界は影響範囲の広さにも影響され、広い範囲に影響した場合ほど、許容される変位(○)の上限が下がり気味にも見える(図中の直線)。このような、「広い範囲に影響する重要施設ほど許容変位が小さい」という感覚的考察結果は、工学的にも妥当と認められるであろう。

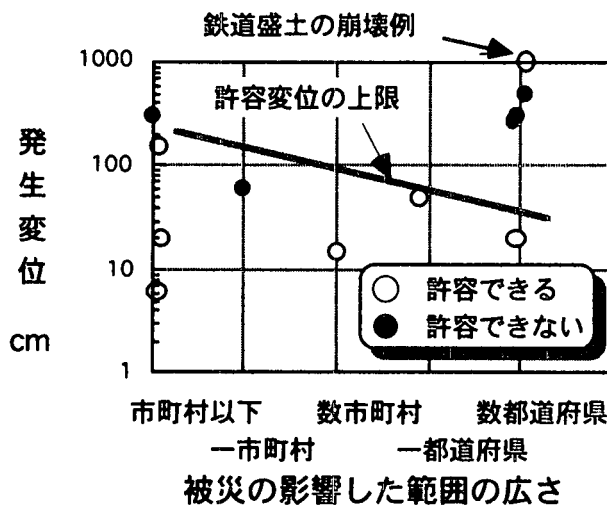


図2.3.1-5 発生変位と影響地域の広さとの関係



### 2.3.2 許容変位について

ここでは、許容変位の大きさに関するアンケート回答者の意見を調べてみる。まず、自己の関わり合った被災事例について、回答者が感覚的に持っていた許容変位の値（ここまでなら復旧で対処することで許容できる）を、実際に発生した変位と比べてみた。それが図2.3.2-1である。発生した変位が許容できない、と回答された事例では全て、発生変位が許容変位より大きい。つまり、回答者は許容変位の値について、ある程度、論理立った回答をしている、と判断できる。

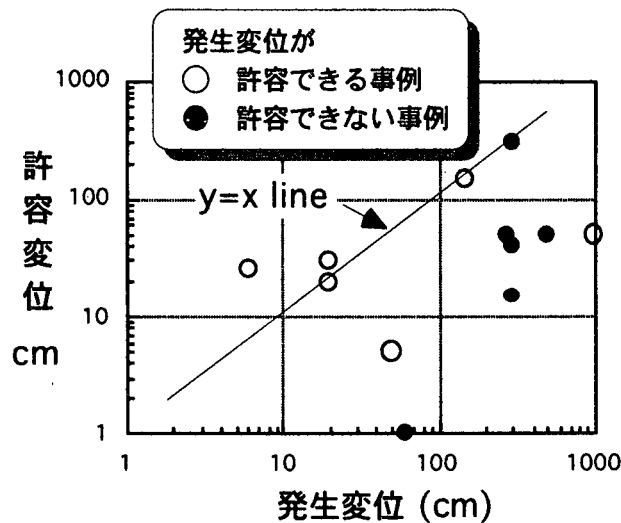


図2.3.2-1 発生変位と許容変位の感覚との関係

復旧に長期を要する施設のためには、許容変位を小さく設定すべきか大きくするべきか、という問題は、結論を出しにくい。復旧に長い時間のかかる施設は恐らく大規模な構造物で、かつ構築も難しいものであろうから、寸法や構築の難度に応じて大きめの許容変位を設定すべきである、というのが一つの考え方である。しかし他方では、復旧に長い時間がかかればかかるほど、社会に及ぼす迷惑が増大する。そのような事態を避けるために、そして復旧期間を短縮するためにも、許容変位を小さく設定すべきである、という考え方もありうる。

長短さまざまな復旧期間を体験した後で各回答者の感じている許容変位量を調べたのが、図2.3.2-2である。中に河川堤防の許容変位=3mというデータがあるが、これは、とりあえずの議論からは外したい。その理由は、河川堤防においては許容変位が変位量の大小で決まるのではなく、地震後に残っている堤の高さで決まってくる、という事情がある。すなわち、変位が大きくても残留高さが洪水を避けるに充分であれば、それは許容され、発生した変位は補修すれば良い、とみなされる。逆に変位が小さくても越流と浸水の危険があれば、それは許容されない。このように、河川堤防においては、許容変位量自体に工学的な意味が無く、生き残った部分の寸法が重要である。そのように考えて堤防のデータを除外しても、残りのデータに明確な相関が現われた、とは言いがたい。しかし、長期にわたる復旧を体験した後では、やや大きめの変位を許容する傾向が見えている。復旧に長期を要した、ということは、おそらく被災の規模も大きかったのであり、大規模な土構造物においては許容変位も大きいのであろう。はっきりした相関が現われなかった理由は、許容変位がその他の要因、

たとえば、影響範囲の広さにも強く依存しているからであろう。上に述べた第二の考え方、すなわち社会的迷惑を減らすために、復旧期間の長い施設では許容変位を小さくする、という考え方については、後ほど実復旧期間の代わりに許容復旧期間を用いて、再度議論する。

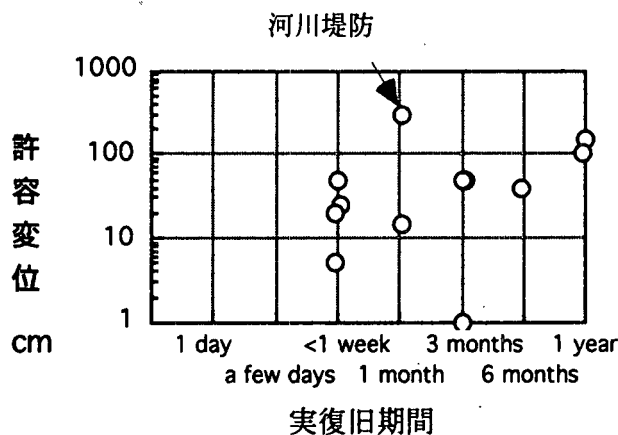


図2.3.2-2 許容変位と実復旧期間との関係

図2.3.2-3では許容変位と代替機関供用開始までの時間との関係を調べた。特に明確な相関は見られないが、先述したように堤防という特殊例を除外すれば、供用までの時間が長かった事例では許容変位を小さくしたい、という感覚があるようである。

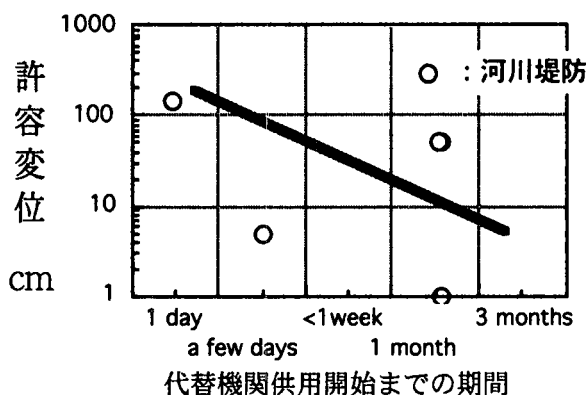


図2.3.2-3 許容変位と代替機関供用開始までの時間との関係

被災施設と同じものを、今、新たに設置するとしたときの費用を、許容変位量と比較したのが図2.3.2-4である。高額な施設ほど許容変位量は、やや大きいようである。先に表2.3.1-1や図2.3.1-4で許容／非許容の判断では費用が重要でないことを示したが、ここでは様相が少しだけ変わっており、高額施設（恐らく大規模）の許容変位（上限値）が、大きくなるようである。

施設の機能停止によって影響を受けた地域の広さと許容変位との関係を調べたのが、図2.3.2-5である。図の中央上に鉄道盛土で3mの変位を許容している例がみられるが、これ

は前述したように高さ10mの盛土崩壊に関する個人的見解であり、今後の鉄道分野では、許容変位が50cm程度になる見込みである。そこでこのデータ点を取りあえず除外すると、影響範囲が広いほど（社会に及ぼす迷惑が大きいほど）許容変位が小さくなる傾向が存在する。

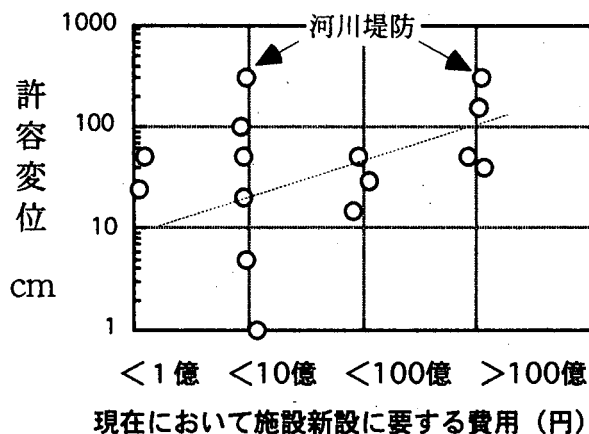


図2.3.2-4 許容変位と新設費用との関係

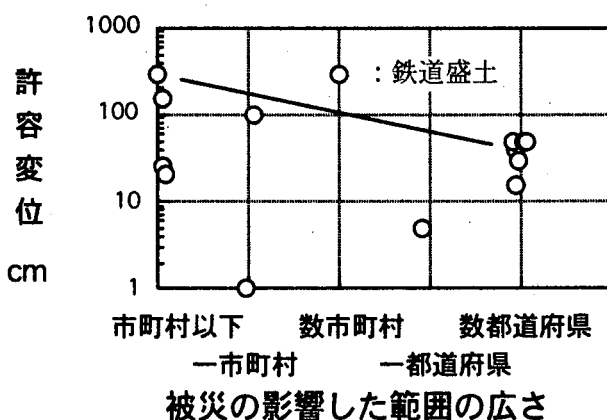


図2.3.2-5 許容変位と影響地域の広さとの関係

### 2.3.3 許容復旧期間について

施設の機能停止が社会に及ぼす迷惑は、その大小が影響範囲の広さだけでなく機能停止期間にも依存しているはずである。そこで前の章では、実復旧期間を用いて各種の相関を調べてみた。しかし実復旧期間は被害の大小を反映する量ではあっても、許容する／しないの判断とは、やや関係が薄い。そこで本節では、回答者が感じている許容復旧期間を使って、相関を調べてみる。この許容復旧期間はなんらかの理論的背景から出たものではなく、あくまでアンケート回答者の心情の産物である。

まず最初に、実復旧期間と許容復旧期間を対比してみたのが、図2.3.3-1である。発生した被災を許容できない、と判断している場合（●）、一部の例外を除くと概ね、実復旧時間の方が許容復旧期間より長い。逆に、被災を許容している場合（○）、実復旧期間は許容値より短くて済んでいた。このように、復旧期間の長短が発生した変状の許容／非許容を決める重要な要因となっている。

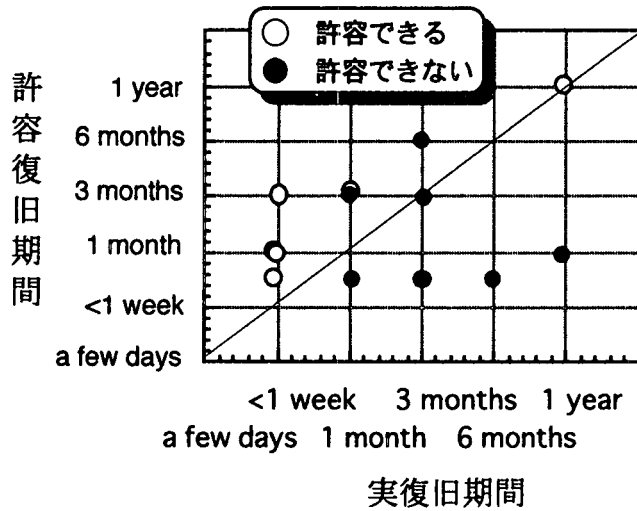


図2.3.3-1 実復旧時間と許容復旧時間との対比

図2.3.3-2では、代替機関が供用開始されて曲がりなりにもサービスが始まるまでの経過時間を、許容復旧期間に対して比べてみた。あきらかに許容復旧期間の方が長く、たとえ仮復旧にせよ、復旧の成果には代替機関では果たせない水準の性能が求められている。

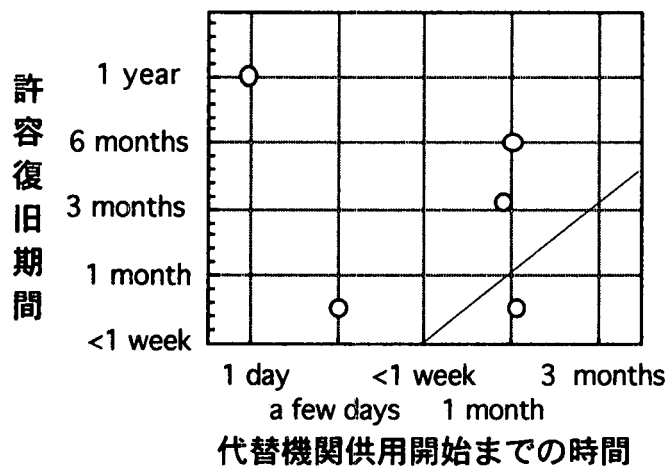


図2.3.3-2 許容復旧期間と代替機関供用開始までの時間との関係

図2.3.3-3では、許容復旧期間と新設費用との関係を調べてみた。上限値で見れば、高価な施設の中には長期の復旧期間が許容される場合のあることがわかる。また図2.3.3-4では、許容復旧期間と影響範囲との関係を調べたが、あまり明確な関係は見られなかった。

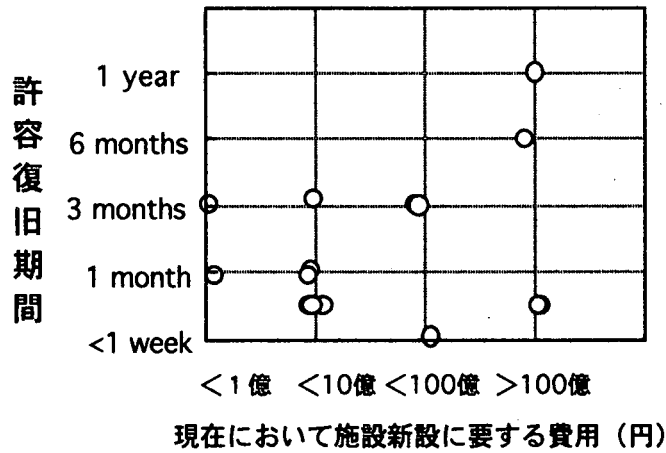


図2.3.3-3 許容復旧期間と新設費用との関係

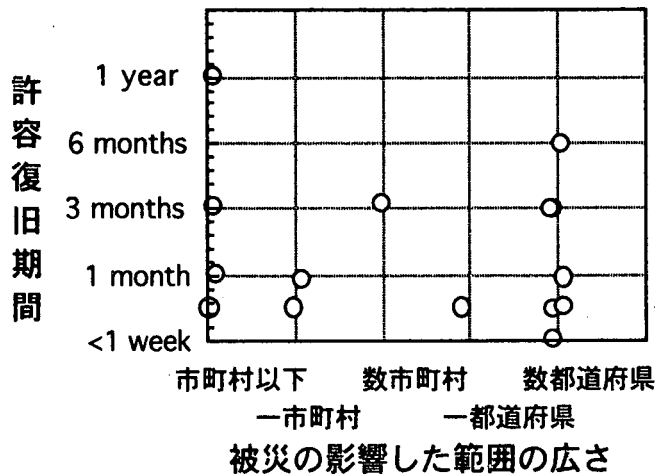


図2.3.3-4 影響範囲の広さと許容復旧期間との関係

### 2.3.4 許容変位の決定方法に関する提案

従来から耐震工学一般の分野で考えられてきた許容被害（変位／変形を含む）の推定では、想定される地震動の大小と、当該施設の重要性とをパラメータに使ってきた。そして例えば表2.3.4-1のようなマトリクス形式で許容被害量を決定してきた。

先ほどの2.3.2節の議論によれば、許容変位の決定に影響する、と考えられる因子として、復旧までの期間および影響される地域の広さが重要であった。これら二つの因子は、施設の機能停止が社会に及ぼす迷惑を説明する、と考えられる。ただし影響される地域が広いといっても、人の住まぬ荒地では迷惑にならないことは明らかである。従って地域の広さはむしろ、居住人口ないしは地域内の社会・経済活動の規模によって代替すべきか、と考えている。しかし本委員会の活動ではそこまでの調査を行なわなかったため、とりあえず地域の広さを使って議論を行なうことにする。

表2.3.4-1 許容被害量を決定するためのマトリクス

|            |   | 設計地震   |         |
|------------|---|--------|---------|
|            |   | 強      | 弱       |
| 施設の<br>重要性 | 大 | 許容被害：中 | 許容被害：微少 |
|            | 小 | 許容被害：大 | 許容被害：小  |

アンケート調査によれば、影響される地域が広い場合に許容変位が小さい（図2.3.2-5）。また、実復旧期間が長いときに、許容変位が大きい（図2.3.2-2）。復旧期間が長い施設ほど許容変位も大きくなる傾向は、図2.3.4-1の許容復旧期間についても、現われている。回答者の示したこのような感覚は、やや不思議に思える。なぜなら、施設の機能停止が社会に及ぼす迷惑の大小は、対象地域の広さだけではなく、機能停止期間の長さ、すなわち復旧期間の長さにも、深く関係している。そして対象地域の広い場合には許容変位を小さく設定すべきである、という感覚が先に示されたのに対し、復旧期間の長い場合には逆に許容変位を大きく設定すべきである、と考えられているからである。このような相矛盾するようにも見える回答について、やや詳細に調べて見る。

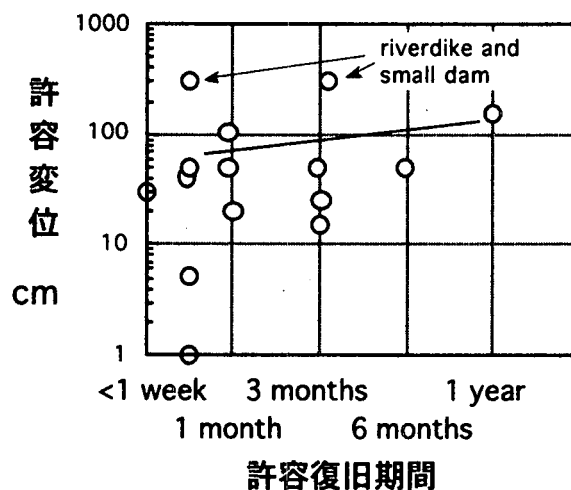


図2.3.4-1 許容変位と許容復旧期間との関係

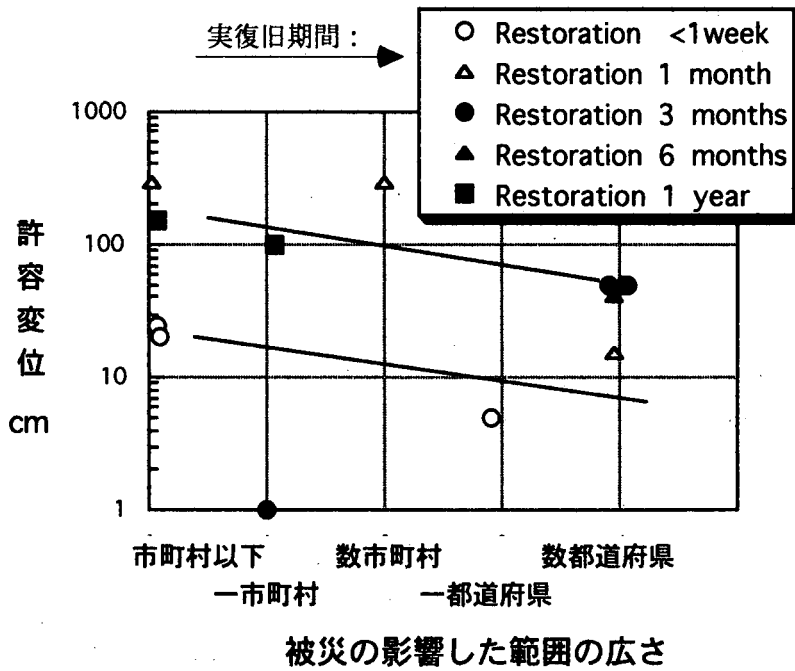


図2.3.4-2 影響範囲の広さと実復旧期間との関係

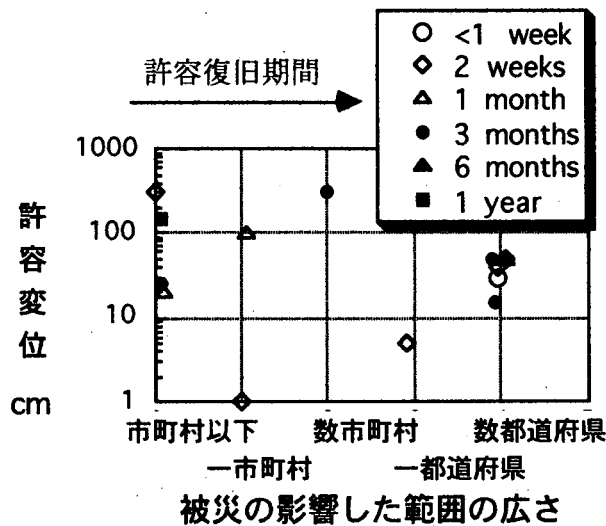


図2.3.4-3 影響範囲の広さと許容復旧期間との関係

図2.3.4-2と図2.3.4-3では、影響範囲の広さと許容変位との関係を、それぞれ実復旧期間及び許容復旧期間（回答者の願望）別に分類してプロットした。図2.3.4-2では、実復旧時間の短かったケースを白抜きの記号で表示し、復旧に長い月日を要した事例の黒い記号と区

別している。それによると、一部の例外的データを除いて明らかに、復旧に長期を要する施設において、許容変位が大きくなっている。これは、大規模な復旧を要する施設は、それ自体の規模も大きい、と考えられ、大規模土構造物に厳しい許容変形の制約を課することは、莫大な建設費を必要とすることになるのを、おもんばかってのことであろう。他方、データを願望の表現である許容復旧期間に対してプロットした図2.3.4-3では、許容復旧期間が長い施設で、ある程度は許容変形も大きい。しかし、図2.3.4-2ほど、明確ではない。やはり実復旧期間の方が、被災の度合、施設の規模を直接表現しており、それだけ傾向もはっきり現われるのであろう。

以上のような考察に基づき、土構造物の地震時許容変形設定の方法を、次のように提案する。

- 1) 許容変形値の設定においては、施設の機能停止によって社会に及ぼす迷惑の大きさを重視する。迷惑の大きさを決める二大要因は、影響地域の広さと機能停止期間の長さである。ここで復旧の費用を考慮していないのは、今回の研究対象が公共施設に片寄っていたからである。私的施設の検討は、今後の課題である。
- 2) 当該施設の機能停止によって影響を受ける地域の広さ、あるいは地域の人口や社会活動の量を見積もる。また、本格的な復旧に要する期間の努力目標を、設定する。そしてこれらに対応する許容変形値の第一評価値を、図2.3.4-4から決定する。この図は前出の図2.9.4-2と同じである。この段階では、願望としての復旧期間の見積もりは粗くて良い。広い範囲に影響する施設、そして早期の復旧が要求される施設ほど、許容変位が小さい。

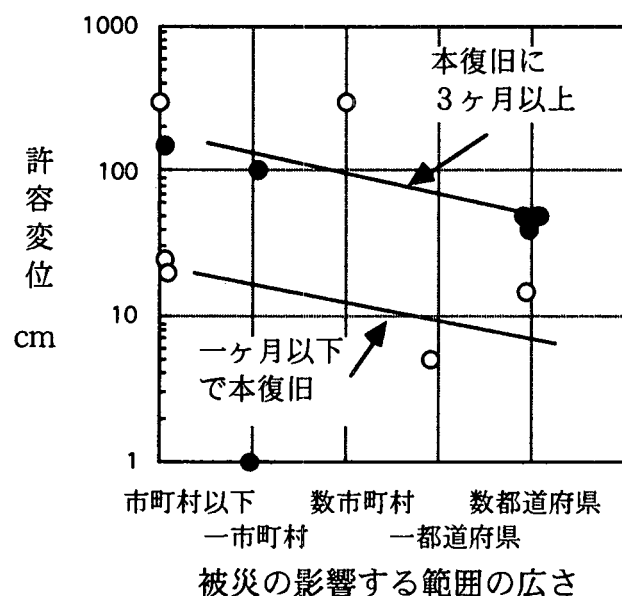


図2.3.4-4 影響範囲の広さと復旧期間を考慮した許容変位の決め方

- 3) この許容変形第一評価値に対応する実際の復旧期間を、復旧工事の段取りなどを考えて、推定する。実復旧期間が許容しがたいほどに長ければ、許容変形量を小さくする（第一



評価値)。逆に実復旧期間が必要以上に短ければ、許容変形を少し増やしてよい。過去の経験を表わす図2.3.1-2からも、実際の復旧期間と変形との関係が、大略、見て取れる。

このような手法に従うとすれば、次のような疑問点が想定される。

- L1地震やL2地震の差によって、許容変形量にどのような差が生まれるか？

今回対象にした事例は、大半が1995年の阪神大震災での体験である。その意味で、アンケート調査はL2地震もしくはこれに近いものを想定している。L1地震では許容復旧期間が短くなるから、勢い許容変形は小さくなる。

- いわゆる重要構造物は、それ以外の施設と取扱がどのように異なるか？

まず被災した場合の影響が広い範囲に及ぶ、という理由で重要な構造物を考える。重要度が増すほど許容変位が小さくなり、さらに復旧が急がれるものほど、許容変形は一層小さくなる。次に、被災の影響範囲は限られているものの、その地域にとっては限りなく重要である、という場合を考える。影響範囲が狭いので、許容変形の第一評価値は大きめになる。しかし復旧が急がれるであろうから、許容変形は削減される。また、影響範囲に拘わらず損傷を絶対に受けてはならない施設は、復旧期間ゼロに対応する変形を許容値とする。

- 宅地造成地のように、全体とすれば寸法（影響範囲）は大きくても、一区画で見れば、影響範囲がごく小さいものは、どう扱うか？

盛土の一部が損傷する程度なら、影響は宅地の一つの区画にしか及ばない。つまり影響範囲がごく狭いので、許容変形は大きめになる。しかし宅地の損傷によって居住ができなくなれば、住人は他所に非難生活を強いられる。これは当人にとっては辛いもので、早期の復旧が望まれる。そこで許容変形が縮減される。その結果、造成費用が値上がりするはずだが、費用の問題は本研究の対象に入らなかったのも、個人の判断に任せたい。