

2. 調査の必要性と課題

2.1 1995年兵庫県南部地震による被害と地震工学としての課題

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震は近代的な大都市の直下を襲った地震としてきわめて特異な地震と言われているが、世界的にも有数な地震国で過密都市の多い我が国においては決して特殊な地震ではなく、ほとんどの日本の大都市がこのような危険性を常時抱えていることをあらためて明らかにした。この地震により阪神・淡路地域において約10万棟の家屋が全壊し、6,000人を超える死者がでた。また、十分な耐震性を持っているといわれた鉄道や高速道路の高架橋がもろくも崩れ落ちた。鉄筋コンクリートや鉄骨のビルディングも例外ではなく、多くのビルが1階ないしは中間階で座屈あるいは倒壊した。死者の大部分は、地震の発生が未明であったこともあり、木造家屋のほとんど瞬時ともいえる崩壊によるものであった。

兵庫県南部地震から4年が経過したが、この間、地震工学を初めとする様々な分野の研究者がこの災害の様相を把握し、被害の原因を究明すべく努力してきた。未だこの災害の全貌、被害の原因が究明されているとは言い難く、今後もかなり長期にわたる研究が必要なことは間違いないが、構造物の破壊や人的被害の観点から、現時点でのこの災害で顕在化した課題等を総括すれば以下のようなだろう。

- ① 震源近傍で観測された地震動は継続時間こそ10数秒と短いものの、家屋、ビルディングに大きな影響を与える周期帯域できわめて大きなパワーを持っていた。同様の地震動は1994年の米国のノースリッジ地震においても観測されていたが、この規模（マグニチュード7クラス）の断層近傍の地震動として十分認識されていなかった。
- ② 従来、我が国の木造建物は相応の耐震性を持っていると考えられてきたが、特に古い家屋では構造上の問題および老朽化の問題があり、上記①のような地震動に対してまったくといってよいほど耐震性がなかった。
- ③ 昭和56年以前、いわゆる「新耐震設計法」以前に設計されたビルは、このようなパワーのある地震動に対して十分な耐力を持っていなかった。一方、新耐震設計法で設計された最近のビルの被害は限定的であった。これは、新耐震設計法が「ねばり」を重視するのに対して、従前の設計法がいわば「強さ」を求めていたため、設計許容レベルを越えるきわめて強い地震動を受けた古い構造物はほとんど瞬時に崩壊したものと考えられた。高架橋のような土木構造物においてもこの事情は同様である。
- ④ 新幹線を含む鉄道高架橋、高速道路等の高架橋がかなりの比率で崩壊ないしは落橋した。地震の発生が未明であったことから、この崩壊等による人的被害は少なかったが、もし地震の発生が昼間であれば、高架橋の崩壊により相当数の死傷者がでていたと想定される。
- ⑤ ポートアイランドに代表される埋立地の護岸・岸壁や竣工したばかりの高速道路（阪神

高速湾岸線)の基礎が液状化およびそれに伴う地盤の流動現象により大きな被害を受け、物流網に長期的な悪影響を与えた。このような流動現象はこれまで研究はされていたものの、そのメカニズムや構造物への影響について十分わかっておらず、もちろん設計においては考慮されていなかった。土に関しては、土砂崩れや鉄道や道路の盛土、擁壁の被害が多発したが、これらについても流動化とほぼ同様の状況である。

- ⑥地震による直接的な死者は5,000名を超えるが、地震工学・地震防災においてはこのような多量の死者の発生は予想だにしていなかった。建物を崩壊させないということが基本であることは間違いないが、大量の既存不適格構造物の存在を考えると、いかに人的被害を軽減するか、あるいは、いかに人的被害を軽減するよう被害の程度を抑えるかといった観点からの研究が必要であることが明らかとなった。また、地震発生の時間帯から、ターミナル等におけるパニックや走行中の列車や自動車事故はほとんどなかったが、地震の発生が昼の時間帯であったなら、様々な形態の二次的な災害が発生していた可能性がある。

2.2 研究の必要性

1995年兵庫県南部地震まで、地震工学者や土木・建築の設計者はあのような形態の破壊までは想定していなかったのが現実である。あえていえば、それまでの震度5ないしは6程度の限られた被害地震の経験をベースに、我が国においては、工学的に設計された構造物はあのような形で崩壊しないと思っていた。しかし、その裏付けがそれほどあったわけではない。構造物に作用する地震動の性質がよくわかっていなかったことが大きい。たとえば構造部材に亀裂が入り破壊が進行する過程、あるいは建物や橋梁の全体系がどのようにして崩壊していくかの過程はよくわかっていなかった。このような状況を再現、試験する装置がなく、理論や設計法を検証するためには次の被害地震を待つほかなかったのである。土については、粒状体に水が関与するという複雑な性格から、さらには実験・試験の困難さから、一般の構造物に比べればより原始的な状態にあったといつてよい。

構造物の崩壊を予測しえなかったことは、すなわち、それによる人的被災も同様である。家屋の崩壊、それに伴う窒息死(ないしは圧死)という現象は、いわば低開発国型の災害と考えられ、明治以前あるいは昭和初期はいざしらず、近年ではほとんど起こりえないというのが一般的な認識であったといえよう。阪神・淡路大震災の死者の半数以上が窒息死であったが、このようなことはそれまでほとんど認識されていなかった。地震による死傷者の大部分は大規模な火災延焼によって発生すると考えられていた。

地震防災には様々な手法がある。たとえば、都市を再開発し密集の度合いを減らす、系統的な緑化や空き地の確保により災害の拡大を防ぐ、防災拠点やそれに連絡する道路を系統的に整備・強化する、情報システムの強化等により危機管理や災害後の応急対応をスムーズに行うなどである。これらはもちろん重要で緊急の課題ではある。しかしながら、我々の社

会生活の基本である住居や社会基盤施設を構成する構造物等の耐震性強化をはかることがもっとも肝要であることは論をまたない。これには膨大な費用がかかることはいうまでもないが、早急にかつ着実に実施していかなければならない。もちろん、阪神・淡路大震災により何が起こったのかを明らかにし、社会的合意を形成しつつ強化を実施していくことが必要である。

阪神・淡路大震災以降被害の実態をふまえ、土木学会、建築学会等から各種の提言がなされ、関係機関では設計基準類の改訂が行われた。これらの改訂は、基本的には、最近の基準類で設計された構造物の被害が少なかったことをベースに、地震動の強さ・特性および被害実態をふまえたものであり、設計法として著しく進歩したことは間違いない。しかしながら、このような新しい設計法がどの程度合理的であるかの検証が十分なされていない。要は、破壊という一点あるいは破壊した後の挙動が十分にわかっていないのである。

以上述べてきたことは、地震工学の全否定にもつながりかねないように見えるが、趣旨は異なる。破壊過程あるいは破壊のメカニズムが解明されれば、工学的な対処は可能であり、解析精度の向上は、より合理的な設計を可能にするのである。

構造物等の破壊過程解明のためには、1995年兵庫県南部地震等の最近の破壊的な地震による被害実態の調査、分析をベースに、理論的・解析的な研究及び実験的な研究が必要である。これらの成果に基づき、解析精度の向上や対応策の検討が行われる。ただし、破壊過程に関するこれらの理論、解析手法あるいは対応策は出来るだけ現実に近い形で実証されなければならない。これまでは次の地震を待つほかなかったのであるが、現在、科学技術庁では、平成17年初頭の完成をめざし、実大三次元震動破壊実験施設を建設中であり、これを用いることによって、実大構造物の強震時の挙動を破壊レベルまで再現することが可能となる。

本F Sでは、近い将来における実大三次元震動破壊実験による検証が可能であるとの前提にたち、構造物等の破壊過程の解明、ならびに破壊の制御方法に関する研究が必要であると判断した。強震動の人体への影響も同様である。この基本認識にしたがい、構造物の種類に応じ、あるいは人間への影響についてどのような研究が必要か、その内容・方法はどのようなものになるかを検討した。

2.3 研究課題

本F Sの結果として、我々が生活する住居や社会基盤施設等の構造物、地盤等が、1995年兵庫県南部地震や1923年関東地震に代表されるきわめて強い地震動を受けることを想定すると、以下の研究を早急かつ強力に実施する必要があると判断した。

- ① 様々な構造物や地盤等の破壊過程を詳細に追跡し、破壊あるいは崩壊のメカニズムを理解すること。この理解に基づき破壊にいたる過程を精密に追跡しうる解析手法を開発すること。(これをもって近い将来導入が予定されている性能規定型設計法のツールとす

る。)

- ② 既設の構造物等について現実的な耐震診断、補強方法を開発すること。
- ③ 構造物の応答を制限する、あるいは破壊を制御するような構造、装置、工法を開発すること。
- ④ きわめて強い地震動にさらされた人体の生理的・物理的応答ならびに構造物等が崩壊した場合の人体への影響、あるいは地震後の人間の行動を明らかにし、人的災害の低減をすること。

さらに、上記研究の成果である破壊過程や人間への影響度合いを最終的には実大三次元破壊実験により検証することを前提として、以下の開発課題が必要であると判断した。

- ⑤ 実大三次元破壊というこれまでにまったく例のない実験に対するあらたな実験技術を開発すること。

以上の大きな方針のもとに、地上構造物等、地盤および基礎・地中構造物等、人間への影響、共通実験技術のくくりで研究すべき課題、各々の内容等について検討した。結果としてあげられた課題を表-2.3.1にまとめる。また、図-2.3.1には主な研究課題を整理し、課題間の関係をまとめた。

表-2.3.1 研究課題のタイトル及び課題一覧

<p>題名:大地震時における構造物等の破壊過程解明と人間への影響およびその制御へ向けての総合的な研究(仮題)</p>	
1. 地上構造物等の破壊過程解明に関する研究	<ul style="list-style-type: none"> 1.1 構造物の破壊過程解明と高精度評価手法に関する研究 1.2 補強構造物の破壊過程解明と高精度評価手法に関する研究 1.3 スマートストラクチャー(次世代高性能構造)の開発およびその挙動に関する研究 1.4 強地震動が鉄道車両走行に与える影響に関する研究
2. 地盤および基礎・地中構造物等の破壊過程解明に関する研究	<ul style="list-style-type: none"> 2.1 地盤破壊のメカニズム解明と地盤破壊が構造物に与える影響に関する研究 2.2 杭基礎の破壊過程解明とその上部構造系に与える影響に関する研究 2.3 土構造物の破壊過程解明とその対策技術に関する研究 2.4 近代都市がもたらした環境脆弱地盤の耐震性に関する研究 2.5 大規模震動破壊実験を想定した試験土槽および地盤作成技術に関する研究
3. 構造物の崩壊等による人間への影響の解明に関する研究	<ul style="list-style-type: none"> 3.1 強震動への人体応答と家屋被害等が人体に与える影響に関する研究 3.2 強震動による人体被災計測ダミーおよび数値シミュレーション技術の開発 3.3 強震動時における人の応答行動と家屋被害等が人の反応に与える影響に関する研究 3.4 人間行動数値シミュレータの開発 3.5 実大三次元震動破壊実験を想定した人間行動環境試験装置の開発
4. 実大三次元震動破壊実験を想定した共通実験技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 4.1 リアルタイムCGによる可視化と実験支援技術の開発 4.2 実大三次元震動破壊実験における破壊挙動追跡技術の開発 4.3 試験体と震動台の動的相互作用を考慮した実験法に関する研究 4.4 数値実験と震動台実験を結合した実験技術の開発

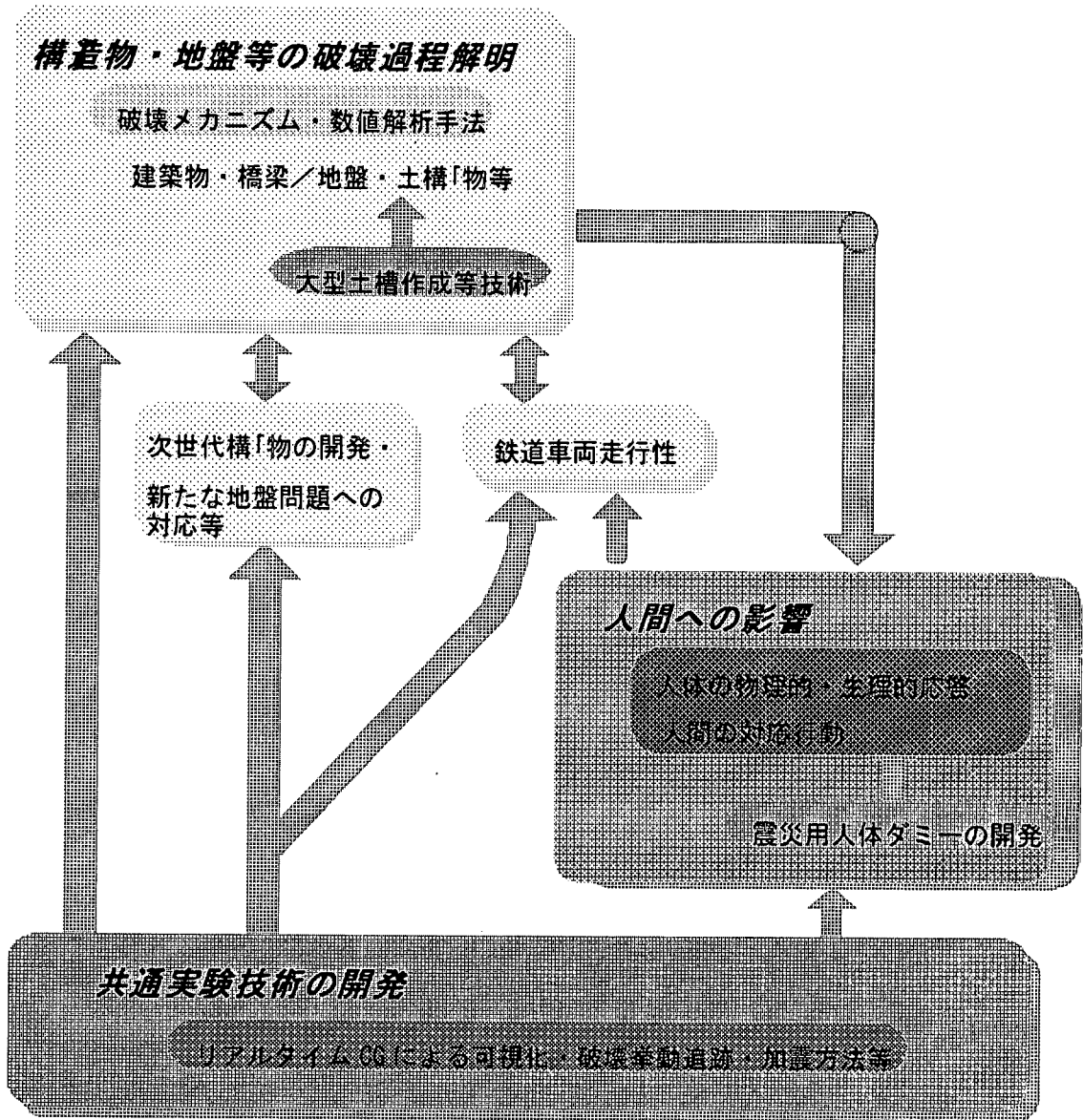


図-2.3.1 研究課題と相互の関連