

都市施設・構造物の耐震性再点検と耐震性強化 に関する若干の問題点

鈴木 浩平* 青木 繁*

要 約

都市圏にある諸施設に対しては、その個々の重要度に応じた耐震設計がなされなければならないが、近年の耐震工学・技術の発展により、適切な耐震基準や指針が整備されてきている。

しかし、すでに設置された設備や構造物が来るべき想定地震に対して安全であるか否かを診断・点検し、耐震性に問題があると判断された場合の補強などの対策をいかにすべきかという点になると未解決な課題が多い。

この観点から本報告は、主として、既存の施設や構造物の耐震性診断とその対策についての考え方と、若干の実状について述べる。また既存の構造物の地震時における損傷度の評価に、近年急速に発展してきた知識工学の成果を応用する可能性についても説明する。

最後に、耐震性に問題点があるとされた設備や構造物の補強、また現構造物の耐震性をさらに向上させる補修工法の決定・採択に対して、経済性を考慮した観点が必要であることを述べ、また建物を例にその応用例を紹介し、今後の進むべき方向を探ってみたい。

1 はじめに

近年、各種の施設・構造物に対して耐震設計基準、耐震設計指針などが整備され、耐震設計に関連するさまざまな解析手法が研究されてくると（鈴木他、1981）、当然ながら、旧来の方法により、すでに建設・設置されている既存構造物、施設に対する地震対策をいかにすべきかという課題が生じてくる（鈴木、1980）。

周知のように、建築物に対しては1981年に「新耐震設計法」が施行され、これら構造物に対しては動的解析を導入した従来とは異なる計算法が定められた。従って、それまでの静的震度法にもとづいて設計された既設の建築物が新たに設定された地震入力に対して安全か否かを再評価する手法の確立が迫られることとなった。このことから建

築の分野では、この建築基準法の改正を契機に既設建築物に対する耐震診断基準が準備された。この内容の詳細（建設省建築指導課、1977）について述べることは避けるが、診断法の根幹はおおむね以下のようなものである。

すなわち、既存の建物の断面図、平面図、立面図をもとにして、当該建築物の耐震性能を点数によって評価しようとするものである。具体的には、建物の有する最大強度と変形能力との積を規準化した値が1.0になるとき、その建物が設計で想定している最大地震に対してちょうど安全になるというもので、この値が1より小さいほど想定地震に対して被害が大きくなると予想される。このような変形能力と最大強度の積で耐震性能を評価するという考え方は新耐震設計法の考え方と整合性をもたせてある。

*東京都立大学都市研究センター・工学部

建築構造物と異なり発電所やコンビナート内の設備・機器、各種の貯槽類などの既存対策は必ずしも建築構造物のようにいかない。各種設備の構造形態、機能が多様であるうえ、地震時に周辺に与える危険度の波及状況も異なる。また、耐震補強が困難な構造をもつ設備も多い。

一般に、構造物やプラントなどの耐震性を再評価する必要があるのは、次の4ケースが考えられる。

(1) 全く耐震性の考慮がなされていなかった設備の設置地域に対して高い地震危険度が予測された場合。

(2) ある地震レベルで設計ないしは建設されていた途中に、地震学上の発展から、新しい（より高レベルの）地震の可能性を考慮する必要が生じた場合。

(3) 適用基準の改正などにより、設計に用いられる数値や計算手法が変更になった場合。

(4) 新設設備と既存設備が隣接している場合、新基準によって既存設備を見直す必要が生じた場合。

上記の実例は、特に原子力発電施設について詳しく報告されているので（柴田，1982a; 柴田，1982b）詳述しないが、これらの再点検に際して

用いる手法は、図-1のようになり、大別すると、次の二つの手法に分けられる。

(i) 確定論的手法

許容応力を、例えば引張り強さまで引上げるなど、塑性変形を許容した量とし（これを「応力の許容限界」という）、この応力で既存設備の耐震性を評価し、不都合となった場合は、荷重の減少、構造強化、システム的対策を行って地震時の災害発生率を引下げる方法。

(ii) 確率論的手法

地震発生確率をもとに、応答倍率の分布を求め、損傷確率曲線を経て地震による当該設備の災害の発生確率を求めようというものであり、近年、地震時損傷度解析（seismic risk analysis）の立場から急速に発展してきた方法であり、特に米国において原子力発電所設備の評価に採用されている。

本節では、まず、(i)の方法の具体例として、我国で実施されている既存高圧ガス設備に対する耐震性向上対策の具体例についても触れる。次に、(ii)のカテゴリーに関連するものとして、既存構造物の震害損傷度の評価に知識工学の手法を適用する最近の試みについて紹介する。最後に、同じく(ii)のカテゴリーに属するが、地震によって生じる

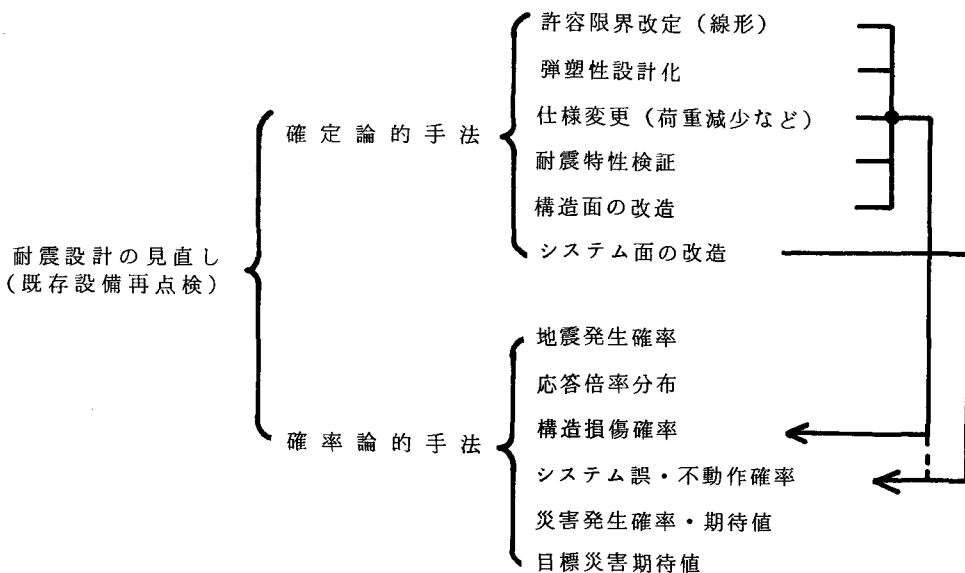


図-1 耐震設計の見直し（柴田による）

損失をできる限り少なくするための改修工法を、経済的効果をも勘案して決定する方法について概説する。

2 高圧ガス既存設備に対する耐震性点検

昭和57年4月の通産省告示515号（高圧ガス保安協会，1981）に基づき、「高圧ガス設備等耐震設計基準」が施行され、新設の塔槽類（塔及び立形貯槽、球形貯槽、横置円筒形頂槽、平底円筒形貯槽）と架構については、この「基準」に従って耐震設計がなされることになった。

ところで、これら対象設備で既に建設中、あるいは稼動中のものが多数存在している訳で、一般に高圧ガス設備の耐用年限が建築物などに比べ長いことを考えると、前項に述べた観点からも既存設備に対する点検・診断は重要な課題となってくる。現在、塔及び立形貯槽、球形貯槽、横置円筒形貯槽に対しては、「点検要領」が策定され、全国的に点検が実施されている。また、平底円筒形貯槽に対しても、「点検要領」が最近作成された（高圧ガス保安協会，1980）。点検実施の基本的考え方は以下のものである。すなわち、既設の対象設備をもつ各事業所の所在する地域に影響を及ぼすと予想される破壊的地震の発生に際して、設備の破壊から生じる災害を最小限に抑止し、とくに事業所周辺の第三者に対して重大な被害を与えないことを第一義的目標とする。点検方法も、事業所の担当者が実行できるように可能な限り簡便なものとしている。点検の結果、合格とならなかった設備部位に対してはより詳細な検討を行うか、あるいは何らかの耐震性向上対策や防災体制強化をはかるなど、総合的に検討して対策を講じようとするものである。この点検・検討作業の概略フローを図-2に示す。

耐震性の点検法は、大別すると、「目視による点検」と「数値解析を伴う点検」の2種がある。この区分は、貯槽の液保有量、保安物件までの距離と貯蔵すべきガスの種別により決められるが、実際には各形状とも半数以上の貯槽に対して数値

解析を伴う点検が要請される。

2-1 目視による点検法

目視による点検法は後述するように知識工学などの発展により、工学的体系化がなされる可能性はあるが、現状ではどうしても点検者の主観や技術的知識レベルの差異が反映せざるを得ない。このことから、高圧ガス設備に対しては、あくまでもチェックリストによって事業者が自己の設備の耐震安全性を点検し、その向上に対する認識を深める動機にすることが主旨とならざるを得ないとしている。

2-2 数値解析による点検法

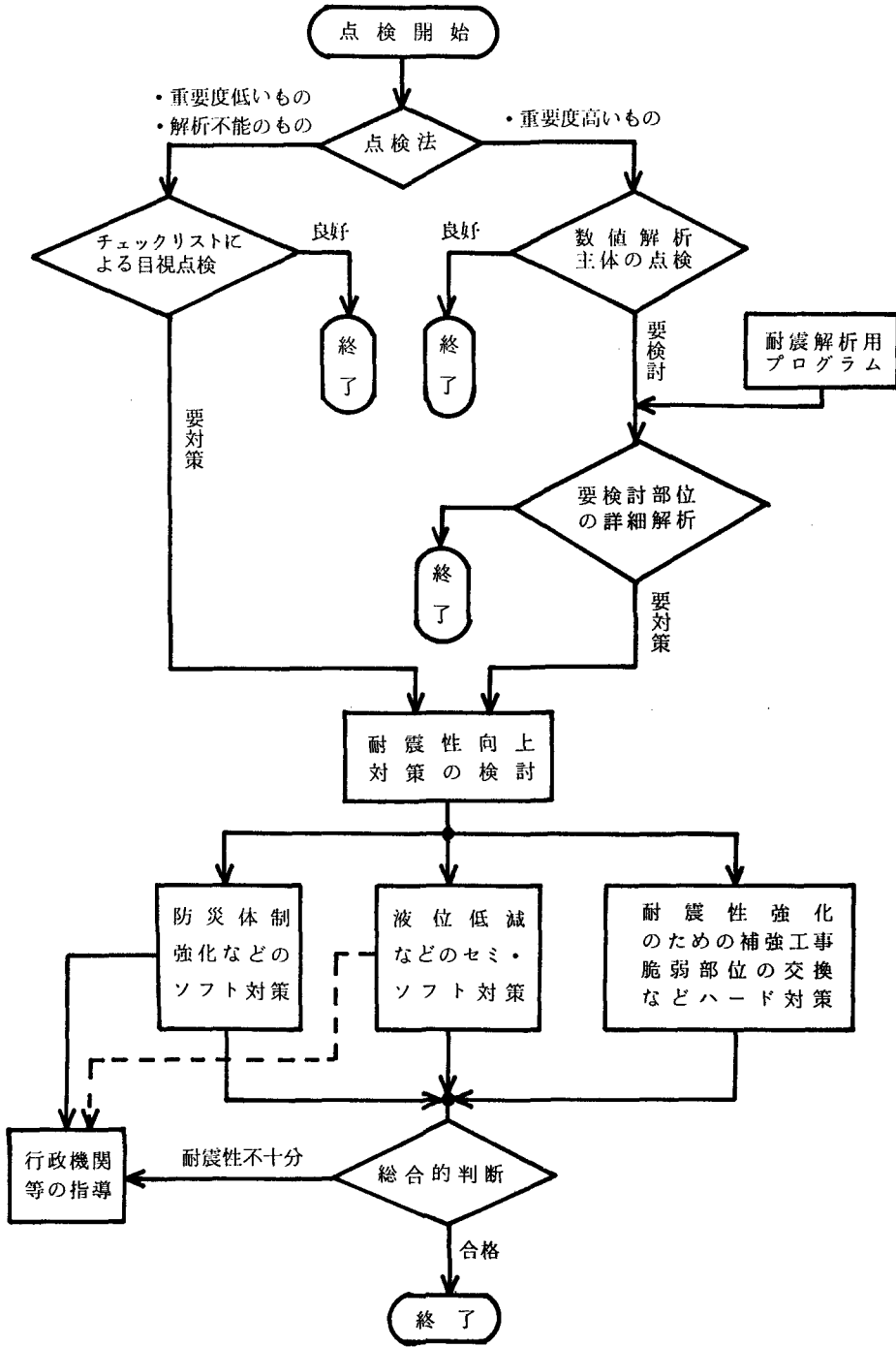
数値解析が必要とされた設備に対しては、図-3のフローに従って点検がすすめられる。この際、目視点検と同様に点検作業そのものは基本的には設備を保有する事業所になるべく短時間に実施してもらえるように配慮されている。この点から、点検部位の絞り込み、解析上のモデル化、計算に必要な仮定の設定などに、工学的判断に基づく簡略化が施されている。

既存設備の数値解析による耐震性診断で特徴的なのは、先に述べた一定限度内の塑性変形を考慮して設定した「応力の許容限界」の値によって耐震性の最終的判断を行っていることである。この値の設定に当たっては、従来の研究、とくに振動実験、詳細な構造解析、材料特性などが参考にされ、表-1には、高圧ガス設備の4種類の貯槽について、点検部位と応力の許容限界、地震により生ずる最も重視すべき予想破壊モードを整理している。

こうした数値解析を伴う点検作業のプロセスには、以下に述べるような問題点が存在する。

(1)数値解析に必要な入力データなどの諸値は、設備の設計当時の図面やミルシートなどを参考にして採用されるが、古い資料を参考にする場合や誤記入などデータの信頼性が判定に影響する。

(2)地震荷重の算定に必要な重要度分類は、基本的には新設用の「耐震設計基準」に依らざるを得ないが、対象設備の残存寿命や何らかの理由によ



図一 2 既存設備・構造物の耐震性診断のフロー

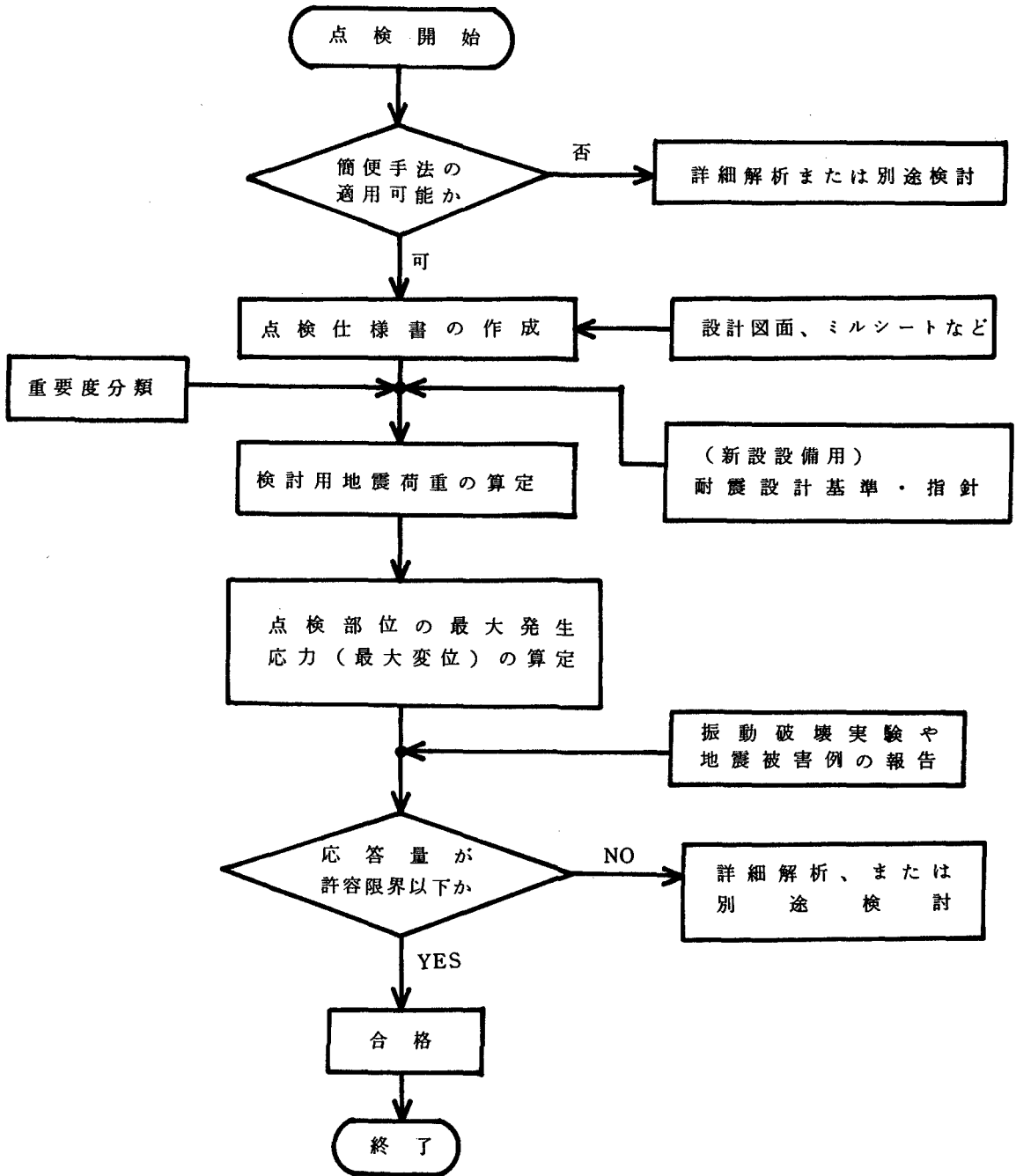


図-3 数値解析による点検作業のフロー

る設備の改修の影響を勘案した重要度評価法を考
えるべきではないか。

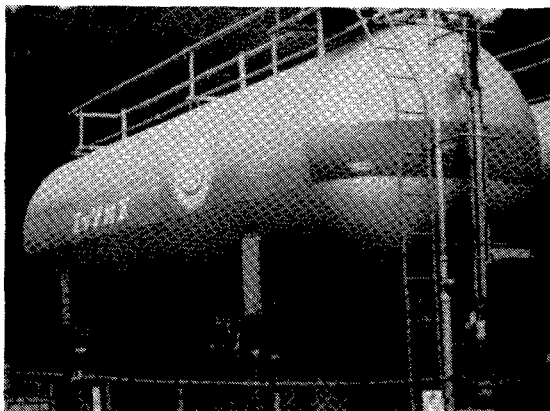
簡便に主要な部位の点検をすることを主眼とし

ているため、設備を全体構造系として点検する視
点が弱くなり、例えば点検結果をもとに、ある特
定の部位を補強しても設備としては耐震性向上に

表-1 高圧ガス設備（塔槽）の数値解析による点検項目

貯槽形式	想定破損モード	点 検 項 目		
		点 検 部 位	算 定 応 力	応 力 の 許 容 限 界
横置円筒形	貯槽本体のペDESTALから の落下・転倒	・アンカーボルト	せん断応力	0.577 Su
球形	支持構造・部機 の伸長・破断に よる球殻部の転 倒	・ブレース ・支 柱 ・アンカーボルト ・シャーププレート	引張り応力 { (圧縮+曲げ) 応力 (圧縮+せん断) 応力 (引張り+せん断) 応力 曲げ応力	普通鋼; 3 Sy, 高張力鋼; 2 Sy (省 略) 引張り; Su, せん断; 0.577 Su 1.5 Su
立形・塔類	アンカーボルト 破断による塔槽 の転倒	アンカーボルト	引張り応力	Su
平底二重殻 円筒形	液の大量流出に つながる貯槽下 部の破壊	・アンカストラップ ・底部側板 ・アニュラプート	引張り応力 圧縮（座屈）応力 圧縮（座屈）応力 膜応力との組合せ応力 曲げ応力	Su, 1.35 Sy の小さい方 (1) アンカー引張り応力 $\sigma t \leq Sy$ 0.45 (Ets/D) のとき (2) アンカー引張り応力 $\sigma t > Sy$ 0.4 (Ets/D) のとき 0.7 Su, Sy の小さい方 2 Sy

(ただし、Su ; 引張り強さ Sy ; 降伏応力 E ; 縦弾性係数 ts ; 側板内厚 D ; 貯槽内径)

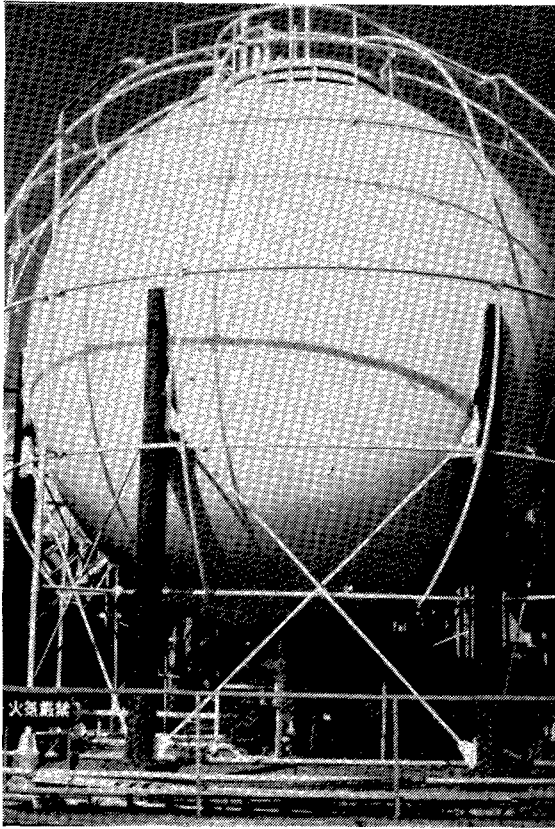


(i)補強前

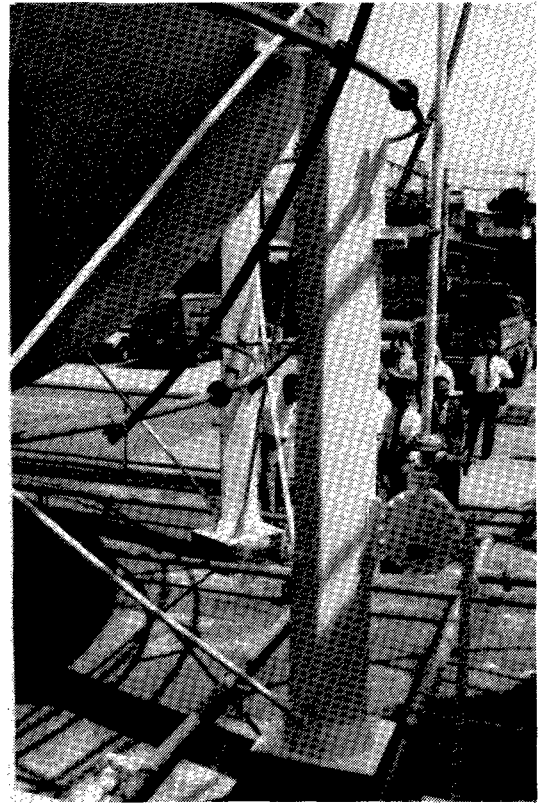


(ii)サドル部の補強

図-4 横置円筒形貯槽の耐震補強例
(日本鋼管[株], 田川健吾氏提供)



(i)補強前



(ii)支柱の補強

図-5 球形貯槽の耐震補強例 (埼玉県, 竹沢興産(株)提供)

ならないこともありうるのではないか。

上記の点の解明には、地震時被害データの取積、各種振動破壊実験の蓄積など息の長い研究が必要と考えられる。

図-4, 5に示す写真は、本点検要領によって診断した結果、改修・補強の必要ありと判定された横置円筒形貯槽のサドル部と、球形貯槽の支柱を耐震補強した例である。このほかにも、設備の機能と形態に応じた各種の免震、制振装置が開発されている。

3 既存構造物の地震時損傷度評価法 ——知識工学適用の試み——

現存する各種の構造物や設備が地震に遭遇した後、その損傷の度合いを総合的に査定することは

必要な耐震性向上策の選択を考える上でも重要である。今、特定の構造系が現時点から t なる時間 (年) 経過後に生じた地震によって“損傷をうけない”事象を $E_T(0, t)$ と定義する。この事象 E_T についての信頼度関数を $R_T(t)$ とすると、 $R_T(t)$ は

$$R_T(t) = \text{Prob.}(E_T) = R_T(0) \exp \left\{ - \int_0^t h_T(t) dt \right\} \quad (1)$$

とあらわせる。 T は構造系の耐用期間を示す不規則量であり、 $h_T(t)$ は地震荷重と耐震強度をパラメータとする不規則関数で災害度関数 (hazard function) または危険度関数 (risk function) といわれる。

ところで、危険物設備や高圧ガス設備などの構

造系は定期的な検査 (inspection) が行われるものが多い。例えば、 t_i なる時期に i 回目の検査があったとすると、その結果も勘案した場合の信頼度を式(1)に準じて書き直すと

$$R_T(t) = R_T^{(i)}(t_i) \exp \left\{ - \int_{t_i}^t h_T^{(i)}(t) dt \right\} \quad (2)$$

この式から、既存構造物の地震損傷度の評価のためには、

(1) 当該設備の現時点における安全性を与える信頼度関数 $R_T^{(i)}(t_i)$ の評価と

(2) 当該設備の将来にわたる地震危険度を与える災害度関数 $h_T(t)$ の推定

という二つのプロセスが必要となる。これらの関数の評価は一般には容易ではないが、前述のように実験や検査結果及び被害データの解析結果などを生かすことが可能になってきた。

実際の設備、構造物の地震時損傷状態の度合いの推定が上記の信頼度評価に不可欠となるが、解析的には、

(1) 入手可能な設計計算書や設計製図面からの検討

(2) 利用可能な仕様書の検討

(3) 各種の分野の知識を使っての構造解析
実験的には、

(1) 破損または損傷個所の発見・探知

(2) X線、超音波などによる非破壊検査

(3) 地震前後における載荷試験

などの結果を総合的に用いて判断することになる。

従来、安全性の評価における最終的判断は、ある確定的な判定基準にもとづいて、“安全か不安全か”という二者択一的 (binary) な査定をすることが前提とされてきた。しかし、プラント設備や配管系などラインで連結された機械システムの耐震安全性をこのような方式で査定するのは実際には不可能である。この場合、個々の設備などに詳しい専門技術者 (expert engineer) の査定に委ねる方が合理的であるという考え方も根強く、実際そのような主観的判断が従来診断法の根幹であったともいえる。

一方、近年の急速な知識工学の発展により開発されたコンピュータ応用システムの一つとしてのエキスパート・システム (諏訪, 1983) (expert system, ES と略す) を構造系の地震被害査定に適用しようとする試みがなされている。ES は本来、人間のもつ専門的知識を効率的に利用し、その知識 (expertise) の集積によって人工的知能手法の複雑な問題の回答を推論によって得ようとするものである。具体的には、病気の診断と治療法、機械などの故障診断、鉱物資源の探査などをテーマとして、1970年代から米国で開発されてきたが、1980年に開発された構造系の地震被害査定のための ES システム、SPERIL (石塚, 1983) (structural peril の意) は、そのシステム構成の基礎理論を“不確定性” (uncertainty) と“あいまい性” (fuzziness) においている。図-6はこの SPERIL による推論のネットワークを示している。ここでは、被害状態の査定に有用な情報源として

(1) 構造・設備 (周辺を含む) の各所の目視点検によるチェックデータ

(2) 地震前、地震震動中および地震後に得られた計測あるいは各種試験データの解析結果

が主体となる。これらのデータの解釈は、構造材料、構造形状、設計条件などのちがいにより大きく影響される。システム構成のための専門知識は土木工学や建築・建設工学の権威の有する豊富なデータや意見をもとに組込まれている。

知識が不備であった場合には、Bayes の確率論を用いても補えるが、fuzzy 理論も有効に利用され、統計的データがなくても、技術者、専門家の経験や感覚にも適合した合理的判断、査定が行えるという特徴をもつ。例えば、最終的査定の回答も例えば、

(i) no damage, (ii) slight damage, (iii) moderate damage, (iv) severe damage, (v) destructive damage, (vi) no appropriate answer

の6クラスに分類して与えられるというものである。

わが国においては、まだこうした研究が体系化され実用に供するまでには至っていないが、今後大いに発展が望まれる。そのためには、被害調査

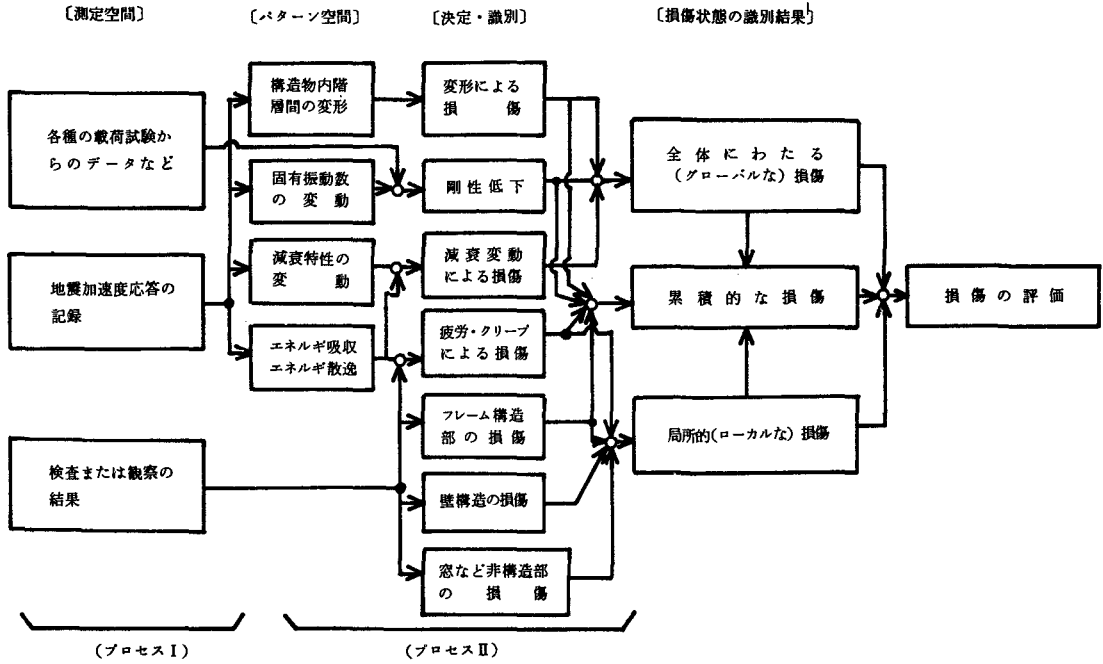


図-6 損傷状態推定・評価の流れ図 (SPERIL による)

や各種の実験による豊富なデータの蓄積が望まれる一方で、研究者や技術者が例えば、土木、機械、建築といった対象分野の枠内で停まっているのではなく、広く安全工学やシステム工学を含めた専門家も協力して進めていかななくてはならない。

4 経済性を考慮した耐震性強化工法の決定

近年、地震危険度解析や、防災アセスメントの発展により、石油タンクを始めとする各種構造・施設の潜在危険性を勘案した地震時災害情報 (seismic hazard information) の確率論的評価が、できるようになってきた。従ってある特定地域に現存する構造・施設が一定の年限内に、一定のレベル以上の地震が生じたときにこおむる損失を可能な限り小さくするための耐震性向上のための諸策を、これらの情報を活用して決定することも試みられるべきであろう。

この意志決定 (decision making) の過程で大事なものは、いうまでもなく経済的效果の問題である。

補強、修復、設備交換を含む改修 (modification) に投資したコストに見合うだけの耐震安全性が、いかに最適に確保されたかは、投資した設備のオーナー、ユーザーは勿論のこと、行政側あるいは研究者にとっても大変重要な課題である。

著者が関連した某県での一例を示そう。この県では最近大型の浄水場が建設されたが、県が行っ

表-2 耐震設計用入力震度のちがいによる建設費用 (浄水場塩素タンク格納建屋の場合)

建設工 事費(百万円)	水平震度 (静的震度)			
	$K_H=0.2$	$K_H=0.3$	$K_H=0.45$	$K_H=0.6$
杭地業工事	63	94	141	187
鉄筋工事	72	76	81	87
型枠工事	83	84	86	87
コンクリート工事	104	106	110	113
その他の建設工事	197	197	197	197
合計	519	557	615	671
m ² 当り 単価	16.0	17.2	19.0	20.7

た地震被害想定の結果や既存の浄水場の一部施設に対して耐震性に問題あり（当該施設は補強済）と指摘された経験を踏まえて、耐震性にかなりの力を注いだ建設を行った。特に塩素タンク及びその格納建屋に対しては水平震度 $K_H=0.6$ を採用し、さわめて堅固な構造になっている。表一2は、その時の建屋の建設費用の地震入力レベルによる算定値である。一見して判るように、この場合は耐震設計費用の差異の大半は、杭地業の費用に係わるといっても良いが、この投資額が工学的にみて真に合理的か否かは大いに議論のあるところであった。この例は、一応新設設備であるが、既存設備については、さらに深刻な議論となると考えられる。

ここでは、近年米国で発表された既存建築物の耐震性向上のための改造費用の決定問題を紹介します、応用例も示す。

4-1 決定方法の概要

取得可能な地震災害情報を活用し、いかに最も経済的に合理的な耐震性向上策を選定するかを体系化するのが、この手法の根幹であり、そのフローは図-7のようになる。この流れで重要なのは、二重枠で示したプロセスであるので、これらについて個々に説明する。

(1)地震危険度の推定：地震動の強さは、最大地動加速度（peak ground acceleration, 以下PGAと略す）であらわすと、PGAの値によって地震

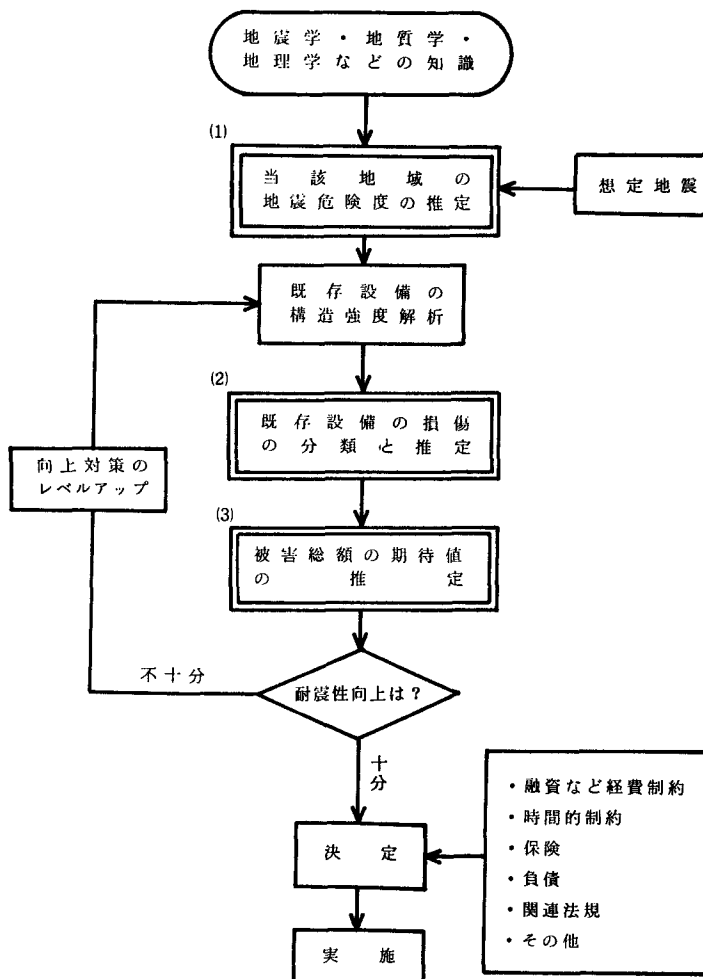


図-7 決定方法のフロー

表-3 生起確率ベクトルP

レベル	PGA (gal)	生起確率
1	$a_0 \sim a_1$	$\left\{ \begin{array}{c} P_1 \\ P_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ P_i \\ \cdot \\ \cdot \\ P_n \end{array} \right\} \equiv P$
2	$a_1 \sim a_2$	
⋮	⋮	
⋮	⋮	
⋮	⋮	
i	$a_{i-1} \sim a_i$	
⋮	⋮	
⋮	⋮	
n	$a_{n-1} \sim a_n$	

動をレベル分けする。次に、当該地域において、一定の年限内にレベル*i*の地震が少なくとも一回生じる確率を*P_i*とし、表-3のような生起確率ベクトルPを作成する。この作業は、国や自治体などが行った地震危険度調査の結果、あるいは地震災害史などを参考にしなされる。

(2) 損傷の分類と推定：損傷とそれによる被害額を推定する前に重要なことは、地震によって生じた物理的損傷を、損傷のタイプ(引張り、せん断、座屈など…)、原因さらには既存設備中のどの部位(サブシステムといってもよい)で生じたかなどにもとづき分類することである。例えば、次節で述べる高圧ガス設備の球形タンクにおいては、支柱、斜材(ブレース)、アンカボルト、シアプレートがサブシステムとなろう。これらサブシステムの損傷率は、

$$\text{損傷率} = \frac{\text{サブシステムの修復コスト}}{\text{設備全体の修復総額}} \quad (3)$$

で表わすのが良い。

次に、何らかの具体的補強策が与えられたとすると、損傷マトリクス(damage matrix) $D = \{d_{ij}\}$ を、過去の地震被害の統計的解析などから定めることができる。ここで、(i,j)要素 d_{ij} は、*i*なるレベルの地震が来襲したときに、*j*なるサブシステムがうける損傷比の期待値を意味する。一方、

*j*なるサブシステムを修復するのに必要なコストをDであらわすと、修復ベクトル(replacement vector) $R = \{r_j\}$ を作れる。これらのD、Rを用いて

$$L = DR$$

と計算すると、この $L = \{l_i\}$ は平均損傷ベクトルともいふべきものとなり、要素 l_i はレベル*i*なる地震動を受けたときの設備全体の損傷コスト期待値を示す。従って、各レベルの地震の生起確率をも考慮した平均損傷は

$$C = P^T L = P^T DR \quad (5)$$

で推定できる。

(3) 被害総額期待値の算定：地震によって負担せざるを得ない既存設備修復のための被害総額の期待値は、

$$C_T = C_m + C_p + C_u \quad (6)$$

で算定する。ここで C_m は設備修復のためのコスト、 C_p は現時点でごく近い将来に襲来が予測される地震に依存する損害コスト、 C_u は設備の耐用年限にわたる損害の期待値であり、

$$C_u = \sum_{j=1}^m C_j e^{-(i-p)n_j} \quad (7)$$

で計算される。ここで、 C_j は耐用年限を *m* 個のインタバルに分割したときの *j* 番目のインタバルでの損害額の現時点での損害期待値、 n_j は *j* 番目のインタバルの中間年までの経過年数、*i*、*p* はそれぞれ平均的インフレ率と平均的利益率である。

この C_T の値をもって、各種の補強・修復工法を採用する際の被害総額の期待値が得られ、経済的に最も有効な補強策を同定できるという訳である。

4-2 2次災害も考慮した方法

今まで述べてきた方法は、地震加速度(PGA)の大きさを損害推定に直結させて考えており、例えば、火災、地沈み、津波、地盤の液状化さらにはダム破壊による洪水などは考慮されていない。しかし、これらの2次災害が実際の損害にはむしろ大きな影響を与えることが多いのは周知のこと

であり、これらの因子を含む評価も重視されなくてはならない。

今、簡単のため、①火災 (F)、②地盤の液状化 (GL) を独立な生起事象として、既存設備の i なるレベルに対して次の損傷状態の生起確率を想定できる。

$P_{i1} = P(\bar{F}) \times P(\bar{GL})$: 地震動のみによる損傷

$P_{i2} = P(F) \times P(\bar{GL})$: 地震動と火災による損傷

$P_{i3} = P(\bar{F}) \times P(GL)$: 地震動と液状化による損傷

$P_{i4} = P(F) \times P(GL)$: 三者すべてによる損傷

(\bar{F} や \bar{GL}) は、火災や地盤の液状化が生じないことを示す。この時、先に述べた損傷マトリクスDの (i, j) 要素は

$$d_{ij} = \sum_{k=1}^4 P_{ik} \bar{d}_{kj} \quad (8)$$

で計算できる。

ここで、 P_{ik} : レベルの地震動に対して、 k なる損傷状態の生じる確率

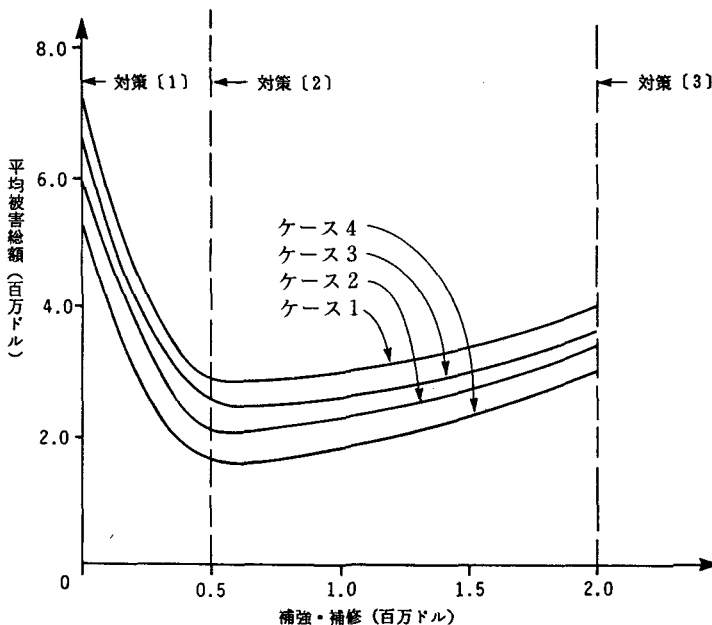
\bar{d}_{kj} : そのときのサブシステム j の損傷率の期待値

この d_{ij} を用いれば、1の手法をそのまま適用して、被害総額の期待値を推定できる。

4-3 適用例

建物の被害総額推定についての計算例を示そう。この例では、損傷モードとしては、地震動に直接起因するもののほか、火災によるものと、建物の基礎構造の損傷に起因するものとを想定している。建物の耐用年限を20年とし、4年単位の5つのインタバルを設定して計算している。建物の建て替え費用は590万ドルかかるとし、平均インフレ率は年7%、平均利益率は10%と仮定して計算したのが図-8である。

ここで、対策[1]は全く何らの対策を講じない場合、対策[2]は所有者が多少(50万ドル)



- ケース1 : 火災と基礎崩壊の確率を考慮
- ケース2 : 火災の確率は無視
- ケース3 : 基礎崩壊の確率は無視
- ケース4 : 両者の確率を無視

図-8 補強費用と平均被害総額の関係

の補強工事を行う場合、対策〔3〕は200万ドルかけた、かなり大がかりな補強を行う場合である。他の条件（地震危険度など）は、できる限り従来のデータを用いているという。

決定者（decision maker）がこの図のみを参考にして立案をするとなれば、コストの効率比較からは対策〔2〕が他の二つより適していることとなる。すなわち、この場合50万ドルの補強コストを投資すれば、例えばケース4（地震動のみを考慮した場合）に対しては被害総額の前想値が200万ドル以下に抑えられる。一方、200万ドルの投資の効果は期待できないことになる。

5 おわりに

都市における構造物や施設の地震対策に対して、従来のハードな耐震対策にとどまらない幅と深みが要請されているという認識の下で、特に既存施設についての諸策について論じてみた。知識工学の適用や、経済学的視点の導入などについては、まだ乗り越えなくてはならない課題が多いが、先駆者のお知恵を拝借しつつ、今後具体的問題を取上げて行きたいと考えている。

最後に、本研究は昭和58年度の財団法人セコム科学技術振興財団の助成研究として行われていることを記し、関係諸氏の御厚意に深甚の謝意を表わす。

参 考 文 献

鈴木浩平・青木 繁

- 1980 「生産施設の機械設備の耐震設計」、『総合都市研究』14号, pp.93-102.

鈴木浩平

- 1980 「高圧ガス施設の地震対策と問題点」、『総合都市研究』11号, pp.79-94.
- 建設省建築指導課
- 1977 『既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針（全3部）』（財）日本特殊建築安全センター
- 柴田 碧
- 1982 a 「原子力発電所機器・配管系の耐震設計の再評価と改善に関する一考察」、『日本機械学会講演論文集』No.820-13, pp.124-126.
- 柴田 碧
- 1982 b 「耐震設計の世界の現況と今後」、『安全工学（地震対策特集号）』第21巻第6号, pp.372-378.
- 高圧ガス保安協会
- 1980 『高圧ガス耐震要領作成に関する報告書』第2編 既存設備の地震対策.
- 高圧ガス保安協会
- 1981 高圧ガス設備等耐震設計基準（通産省告示515号）
- 諏訪 基
- 1982 「エキスパートシステム開発の現状と課題」、『計測と制御』第22巻第9号, pp.755-760.
- 石塚 満
- 1983 「建築物被害査定エキスパートシステム」、『情報処理学会論文誌』第24巻第3号, pp.357-363.
- Kustu, O.
- 1979 "A Practical Approach to Damage Mitigation in Existing Structures Exposed to Earthquakes" Proc. 2nd U.S. National Conf. on Earthq. Eng' ng pp.487-494

SOME PROBLEMS CONCERNING SEISMIC REASSESSMENT AND
COUNTERPLANNING
FOR STRUCTURAL FACILITIES IN URBAN AREAS

Kohei Suzuki* and Shigeru Aoki*

*Center for Urban Studies, Tokyo Metropolitan University
Comprehensive Urban Studies, No. 23, 1984, pp. 35-48.

Recent situations around seismic reassessment and counterplanning are discussed. First, the problems of review and reassessment of the existing structural facilities are surveyed and some practical examples of high pressure industrial equipment such as spherical and cylindrical LNG tanks are shown. Second, a rule-based damage assessment technique using knowledge engineering; in particular, that established using the expert system is introduced and investigated. Some problems which should be solved in order to apply this method for practice are discussed. Finally, a practical method for mitigating the potential losses from future seismic hazards is presented. This idea basically depends upon decision making in the selection of the most economically feasible structural strengthening scheme. An example applied to a simple building structure is shown and examined.