



巻頭言

経済性と安全性のはざままで

東京大学生産技術研究所教授 龍岡 文夫

1995年1月17日の阪神大地震の経験は、建設技術の分野に身を置く多くの方々に（全員ではないであろうが）、物の見方（つまり、設計思想）の変更を大なり小なり迫ったのではなかろうか？

このように、原稿を書き出してしまうのは、あの一般の民家のみならず、土木・建築構造物のすさまじい破壊が脳裏から離れないからである。

阪神大地震の前に、ジオテキスタイルと言う比較的新しい技術の普及、特にジオテキスタイル補強土擁壁の普及がわが国では遅々としている理由について私が考えていたことをまず述べる。そうしないと、巻頭言の主題をうまく説明できない。一般に、新しい建設技術は、①より経済的であり、②より安全（安定）であり、これらを総合してより合理的でなければ受け入れられない。しかし、①と②のバランスが非常に重要である。それにもかかわらず、両者は本来二律背反であり、その判断は現実には非常に難しい。両者のバランス点は、時代と社会によって揺れ動く。これが、主題である。

ジオテキスタイルそのものと壁面工の耐久性の問題を解決でき、完成した盛土補強領域と壁体からなるジオテキスタイル補強土擁壁を十分に安定で剛にできれば、従来の石積み擁壁、重力式擁壁、もたれ式擁壁、新しくはL型RC擁壁よりも「合理的」でありうる、と考えてきた。しかし、実際の社会のメカニズムは複雑であり、合理的なものがすぐ受け入れられる訳ではない。

まず、経済性だけが強調されると、二方向から反発が来る。まず、工費が低い工法の採用が、直ちに利益の減少になるのならば、施工者はそのような工法をわざわざ提案しないであろう。新しい経済的工法の提案が、ボーナスとして利益になる制度と自由競争の原理が働くシステムがないと、ジェネラルコントラクターが、より経済的な工法を研究し、提案する強い動機も生まれまいであろう（他者との差別化が必要な場合は、その限りではないであろうが）。これが、新しい製品の開発により新しい需要を生み出す機械・電気等の工場生産の世界で、各社が必死に新製品の研究を行っているのと、異なってくる。特に、土木の世界では、ここに道路をつくる、鉄道をつくる、と言う需要自身は、基本的に工法とは独立に存在している。

従って、わが国では特に、新工法は発注者が指定することにより実施される側面が強いようである。しかし、発注者は経済性だけを考える訳にはいかず、勢い保守的になる、と言う側面がある。それは、土木の場合、建設を発注した同一機関が建設物（道路、鉄道等）を長年管理することになるからである。従って、実績ある工法でないと、すなわち、施工に問題がなく、長期間問題を起こさなかったと言う実績がないと、新しい工法はなかなか受け入れられないのは、当然であろう。

この販路を切り開くために、私は発注者の立場の方々に、経済性を重んじるべし、思い切って

経済性の高い新しい工法を採用するべし、新しい工法に対して保守的であってはならない、と言っていたようである。折しも、バブル経済崩壊後のリストラ、価格破壊と言う風潮の中で、時代の空気に染まっていたようである。

そこで、阪神大地震である。この地震被害から、現在までに私なりに得た教訓は、何であろうか。まず、歴史的観点の必要性である。戦前のRC構造物で、生き残ったものが結構あったようである（JR三宮駅その周辺のRC高架橋など）。これは、少量入念生産であったことに加えて、計算法が合理化されていなかったことからか、隠れた無駄、隠れた安全率の多い構造物であったことが、理由なのであろうか。ところが、昭和40年代の高度成長期に建設されたRC高架が、今回相当やられた。本当で正確な原因は、私のようなRC構造物に門外漢には分からない。しかし、次のことは言えないであろうか。戦後の廃虚から立ち上がることが国民的合意であった高度成長期での、第一原則はやはり経済性であった。その時代背景のもとで、無意識、あるいは意識的に、建設技術者がその影響を受けていたはずである。設定した荷重に対しては合理的に設計し、ゼイ肉をそぎ落とした経済的設計となっていたのではなかろうか。鉄筋をより多く使い小さくなったコンクリート断面、少なくなった柱の数、長くなったスパン等の要因のため、設定していなかった荷重、すなわち想定以上の極めて大きい地震荷重に対しては、全く余裕がない構造になっていたのではなかろうか。また、高度成長期の特徴として、急ぎの工事、良い材料・熟練工の不足、と言う要因も重なったのではなかろうか。

その後、時代とともに、それなりに地震被害等の経験を積み、耐震工学の研究が進み、また社会が成熟してくるにつれて、現在は高度成長期よりも、設計法（特に耐震設計法）、建設材料、施工法、施工検査も相当改善されてきているはずである。現に、今回の地震でも、最近の設計法に基づく土木構造物（摩耶埠頭の耐震岸壁、最近の橋梁等）、高層ビルのほとんどは、強い耐震性を発揮しているようである。

以上のと似た話として、1964年の新潟地震の折の信濃川に架かっていた万代橋、八千代橋、昭和大橋の例がある。古い順序で、地盤の液状化に耐えて落橋しなかった。また、建築構造物でも、同様な歴史があるのは周知の通りである。今回の地震でも、戦前に関東大震災後に建設された窓の小さい、少数精鋭的に建設されたRC建築と、現在の耐震設計で設計された最近の高層ビルは、かなり生き残ったが、その中間の世代のRC構造物に被害が集中したようである。

しかし、それでも最近建設された構造物が全て万全であった、とは言えないことから、現在の耐震設計法を改善し設計地震力レベルを向上させるべきか、どのレベルまで耐震性を向上させるべきか、今回の最激震を設計地震力とすべきか、それを全国的に適用すべきか、これまで建設した構造物はどうするのか等、すぐには答えられない問題が山積している。ここにも、経済性と安全性の二律背反がある。少なくとも、どのような激震に対しても、現在まで建設された土木・建築構造物が絶対に壊れない、と言ってはならないのは確かである。今後設計・建設する構造物に対しては、この程度の地震力に対して設計するが、それでよいか、と正直に述べるべきであろう。これは、実際には非常にむずかしいが、経済性と安全性の二律背反問題を、世論として理解して頂く必要はある。それでも、もし想定地震力に対して耐えられない構造物を設計・建設したら、それは我々建設技術者の責任であろう。また、設定した耐震性のレベルを経済的に達成できていないと、それも我々の責任である。更に踏み込んで、経済性と安全性のバランスを、時代に対し

て先見的に考慮して想定地震力を設定すること自身も、工学者の責任となるのであろうか？

高度成長期は、社会全体が経済性にバランスが傾いていた時代であった。環境問題のみならず、安全性に対しても。この時代に経済的に大量生産されたのは、土木・建築構造物だけではない。他の工場生産物（電気製品、自動車等）もそうであった。また、工場生産では、多くの公害問題を引き起こしている。しかし、ほとんどの高度成長期に大量生産された工場製品の多くは、消えてしまっている。しかし、ライフタイムが長い土木・建築構造物の多くは、現在も使用中である。ここにも、工場生産物と異なる側面を有する。今回の阪神大地震による土木・建築構造物の大被害は、使用期間が長いことからより慎重であるべきであり、経済性だけではだめである、と言うことを、壮大な規模で実証した。更に、いずれも大破壊が生じている例が多いが、公共建築物である土木構造物には、建築構造物よりも社会的責任を問う声大きい。この公共性も、慎重さの源泉である。

では、今回の阪神大地震での、盛土と土留め構造物の被害はどうであったのだろうか。とても全貌は掴んでいないが、これまで見た範囲で、印象を述べる。耐震設計を行っていない盛土、石積み擁壁、もたれ式擁壁、耐震設計を行っていたと思われる重力式擁壁（戦前のものが主か？）の中に、大被害を受けたものが多かったようである。しかし、神戸市周辺は、基礎地盤が基本的に扇状地性砂礫地盤であり、軟弱ではないから、盛土の流動的破壊は生じていない（海岸部、埋立て地の地盤液状化の問題は、今回は触れない）。しかし、鉄道盛土の揺り込み沈下、法面のはらみ出し、それに伴う盛土天端の沈下はいたるところで見られた。それでも、大被害を被ったRC構造物と比較すると、復旧は圧倒的に早いようである（2～4週間程度）。

土留め擁壁構造物では、石積み、重力式無筋コンクリート擁壁、もたれ式無筋コンクリート擁壁等の、その重さで土圧に抵抗する形式のものは、非常に弱かった、と言う印象が強い（これらを総称して、重力式擁壁と言う）。自分自身に加わる加速度で横に飛び出していた例が、JR盛土、阪神電鉄の盛土（特に石屋川駅付近）、阪急電鉄の盛土で多々見られた。中でも、阪神石屋川での重力式無筋コンクリート擁壁の崩壊の規模は大きく、復旧に相当時間がかかるであろう。これら擁壁の背後の盛土では、揺り込み沈下を殆ど連続的に生じていたが、それに加えて、擁壁が倒れないまでも横方向に滑り出し、また傾斜することにより、背後の盛土が大きく沈下している例が多い。特に橋台裏に目立つが、両側が重力式擁壁の鉄道盛土が著しく沈下していた例も多い（阪神、阪急）。また、L型RC擁壁も転倒しないまでも、滑り出していて、背後の盛土が大きく沈下していた箇所がかなりあった。更に、RC壁面部が折れ曲がるという信じられない破壊形式のものもあった（JR新長田駅）。

以上の観点から言うと、兵庫県南部で四ヶ所に合計2kmに及び建設されていたジオテキスタイル補強土擁壁が無事であったことは、個人的にも、また土留め構造物の技術の流れから言っても、非常に重要なことであった（本当の評価は、もっと時間がたたないと分からない）。これらは、いずれも1990～1993年の間に建設されたジオグリッドで補強した砂質土系の盛土と剛な一体コンクリート壁面工を一体化したジオテキスタイル補強土擁壁であり、1)尼崎市のJR東海道本線の盛土の拡幅に、長さ約1km、平均高さ約5m、2)JR芦屋駅～摂津本山駅間、神戸市東灘区森南町（通称タナタ）、東海道本線盛土での、長さ約260m、最大高さ約6m、3)神戸市垂水区、明石海峡大橋連絡道路盛土に、長さ約200m、平均高さ約5m、4)尼崎市塚口、JR福知山線盛

土、長さ約400m、高さ約3－8m、である。今回の地震では、1)、2)、3)には、全く被害はなかった。これに被害があると、このジオテキスタイル補強土擁壁は、問題なく弱すぎると言うことになる。これに対して、タナタのJR鉄道盛土の南側を支えていたジオテキスタイル補強土擁壁は、若干ながら剛体的に横方向に変位し、傾斜していた。特に、擁壁が最も高く、かつRCボックス構造との境界部となっている部分で。しかし、この擁壁前の民家の半・全倒壊率は80%以上であり、相当な激震地に位置していた。更に、同時期に建設された直径1.2m、長さ6m、中心間隔3mの場所打ち杭と言う非常にしっかりした基礎で支持されていたRC擁壁（これは、ジオテキスタイル補強土擁壁とRCボックス構造物を挟んで建設されている）も、ジオテキスタイル補強土擁壁とほぼ同程度の変位、変形をした。加えて、このジオテキスタイル補強土擁壁は杭基礎がないことを考えると、簡易な補修だけでそのまま使用できるほど軽微な変状であった、と言うことは感嘆に値する。

個人的には、この工法で1994年IGS (International Geosynthetic Society) 賞を受賞した直後であったので、これらのジオテキスタイル補強土擁壁がどうであったが気が気ではなかった。と言うのも、胸に手を当てて思い出すと、これらジオテキスタイル補強土擁壁は、現在の耐震設計指針に沿って耐震設計をしていたとは言え、これほどの激震は決して想定してなかった。特に、ジオテキスタイル補強土擁壁が軽微な変状で済み、倒壊しなかったのは、設計が十分合理的ではなかったため、つまり、ゼイ肉を十分にそぎ落としているほど合理的ではなかったため、隠れ安全率に救われた様なものであり、決して手放して喜ぶことではない。それだからこそ、気が気ではなかったのである。

一般に、経済性を歌い文句にした新しい工法が躓くと、それ見たことか、従来の工法が安全である、と言うことになりがちである。このジオテキスタイル補強土擁壁が倒壊していれば、同じ類の話しになるところであった。しかし、経済性だけで優れていたのではない、と言うことで、土構造物については、現在の新しい設計法・工法は、従来の土留め工法よりも優れている、と言えそうである。更に、個人的には、このジオテキスタイル補強土擁壁が倒壊していれば、今後の土留め構造物の耐震設計に対する検討基準、視座を失うところであった。

明治以降の土木技術の歩みを見ると、高架構造物で言うと、盛土からRC構造物に移って行くのが進歩と、言う展開であったようだ。典型的なのが、東海道新幹線は殆ど盛土を使用したのが、その後の山陽、東北新幹線は殆どがRC高架となったことがある。切り盛りバランスから言うと、盛土のほうが遙かに経済的である場合でも、RC高架が採用されたようである。従って、高度成長期には、盛土・土留め構造物そのものが、マイナー化していった。そのなかで登場してきたジオテキスタイル補強土擁壁は、又エ的であり、土が主材料であり、建設中は柔らかいと言う点では盛土であり、従って杭を省略することができ、一方完成後は鉛直に近いRC壁面工を有していて剛になっている点では構造物（L型擁壁）の特徴を持っている。今回の地震時で、タナタのジオテキスタイル補強土擁壁の変形・変位は軽微とは言え、さすがに無被害のRC構造物より大きかったが、延性的で大崩壊に至りにくかった点で、耐震性は思っていた以上高かった、と感じている。このことを良く研究して確認したい、と思っている。つまり、ジオテキスタイル補強土擁壁は、重力式擁壁とL型擁壁との比較だけではなく、RC高架構造物との比較のなかで、その欠点・長所を考察する必要があるようだ。

最後に、まとめである。経済的だけでは長期的にしっぺ返しが来る。特に、重要土木構造物は多くの人命を奪う致命的破壊、機能喪失、復旧に長時間かかる被害、は避けなければならない。今回の地震被害を思い出すと、私自身敢えて新しい工法を提案してゆく勇気が萎えそうになる。わざわざ君子危うきに近づかず、危ない橋を渡らず、と保守的な態度に徹していれば、安全と言うものである。工法・建設の当事者とならず、あるいは拘らず、外から安全性の側面だけを衝いた批判だけしていれば、気楽と言うものである。しかし、職業として当事者であり続けている方々が多い。従って、建設技術者の間で、今回の地震被害により、安全性の重視に振り子が振れすぎることもおそれる。安全性だけを重視するのも、進歩がない。

工学者、技術者は、常に経済性と安全性と言う、いわば背反する二律の間でバランスを採ることに苦慮するのが宿命なのであろう。結局、構造物の挙動を正確に把握することにより、バランスの判断を確実に出来るようにしておき、進取の気性を保ち工夫の精神を失わず、と言うことは、時代の流れに不変なことであろう。また、新しい合理的工法と言うものは、同一の工費で比較して、安全性（環境問題も含めて）が本質的に優れている必要がある。今は、このような平凡なことしか言えない。