

全層免震再び 能登半島地震に学ぶ深部構造の怖さ



(一財) 日本建築総合試験所 理事長

川瀬 博

1 次世代型免震構造のすすめ2

今回のこの巻頭言の執筆は実は2回目なのであるが、お引き受けした時点では1回目がいつだったのかは把握していなかった。それで調べたところ2016年1月発行の第91号であることがわかった。丁度10年が経過したこととなる。それで前回書いていたことを振り返ることから始めたのであるが、前回のタイトルは「次世代型免震構造のすすめ」であった。その主旨を要約すると以下ようになる。

- 1) 免震は①固有周期を長くして加速度を低減する、②特定層に変形を集中させる、という2つの原理に基づく。
- 2) しかし深い堆積盆地では長周期地震動が増幅し、超高層との組合せに問題が生じ得る。また想定地震動の増大で免震層の過大変形や衝突の懸念もあり、上記の第二原理の限界が顕在化している。
- 3) 変形を1層に集中させる従来型免震は設計が簡明な反面、冗長性が不足する危険性がある。その解決策として、各層を免震化する「全層免震」を提案したい。系全体で10秒以上の固有周期を実現し応答と変形集中を抑え、課題克服を目指す。
- 4) 日本の堆積盆地では免震周期を10秒以上にすれば盆地特有の長周期地震動の影響を回避できる。従来型免震構造の課題を解決した全層免震を次世代型免震として是非挑戦してほしい。

この提案は10年を経過した現在も全く有効で、問題提起した免震を取り巻く環境は全く変わっていない。全層免震についてはその後辻聖晃大阪電気通信大学教授（現在）らが多段免震構造に関する理論的論文¹⁾を執筆されていることを関係者から教えていただいた。またこの次世代免震構造でこれを長周期化する技術として、重力ポテンシャルを利用した滑り支承の有効性を紹介しているが、その技術は既

にいくつか商品化されている。しかし残念ながら全層免震構造に挑戦された構造設計者は未だに表れていないようだ。ブロック免震に比べて全層免震が優れているのは相対層間変形角が従来構造と変わらないレベル（1/100）以下に収められるということである。

ここで改めて強調しておきたいことは、現行の超高層・免震構造およびそれを組み合わせた超高層免震構造はすべからず告示スペクトルおよび標準3波の恩恵を享受したものとなっていることである。ここでは、工学的基盤から上の表層地盤の増幅は考慮に入れられているが、その下に存在する堆積岩層の長周期地震動に対する増幅は考慮されていない。切迫する南海トラフ沿い巨大海溝型地震に向けて、国交省は基盤促波を規定、特定地域ではその適用が必要であるが、残念ながらこれは震源域の全域をカバーしたものとはなっていない。2011年東北地方太平洋沖地震の際に700km離れた大阪湾岸に建つ咲洲庁舎が最大頂部変位1.3mで5分以上続く揺れに見舞われたことは堆積盆地固有の長周期地震動の怖さを教えてくれている。

2 能登半島地震が教えてくれていること

2024年1月1日にM7.6の能登半島地震が発生し、輪島市・珠洲市・穴水町に甚大な木造住宅被害をもたらした。特に輪島市と珠洲市の被害は顕著で被害による死者もこの両市が突出している。

我々は震災直後に微動計を携えて現地入りし、強震観測点と輪島市内・珠洲市内・穴水町内の何点かで微動観測を行った。また震災前に観測された強震波形を分析して、これらの地域における強震観測点での地盤増幅特性（サイト増幅特性）を把握した^{2) 3)}。その結果の一例が図1である。

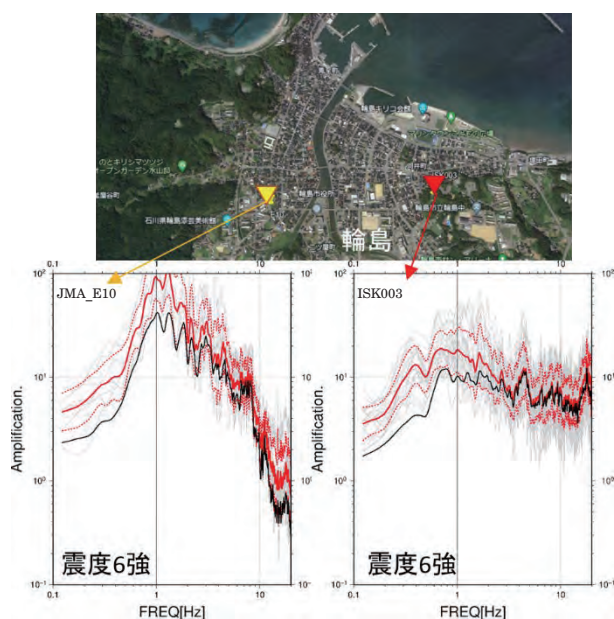


図1 輪島市の強震観測点のサイト増幅特性²⁾³⁾
(注：背景地図はGoogle mapを使わせていただきました)

この図は輪島市の被害中心部の中に設置されていた気象庁の震度計JMA_E10観測点と被害中心部からは少し離れた防災科技研が設置したK-NET観測点ISK003の地震基盤からの相対的な水平動サイト増幅特性（フーリエ・スペクトル比）を比較したものである。一番レベルの低い黒実線は継続時間を15秒以下に限定したS波主要動部だけの増幅、レベルの高い赤実線は後続動部も含む全継続時間の波形の増幅である。赤実線の上下の点線は平均±標準偏差である。JMA_E10では1Hzで約40～100倍の増幅があることがわかる。これに対してISK003では同じ1Hzで10～20倍に留まっている。この40～100倍という増幅が輪島市という全体が丘陵部をなしている能登半島内の狭い平野部で生じていることが如何に異常なことかは、東京湾や大阪湾など大規模堆積盆地の軟弱埋立地盤でのピーク増幅率が高々10倍程度に過ぎないことから明らかである⁴⁾。

この大きな増幅が輪島市内や珠洲市内の大きな構造物被害集中の原因であったことには議論の余地はない。しかしそれがどのような地盤構造に起因したものであるかについては現在鋭意その解明に取り組んでいるところであり⁵⁾、追って詳細なメカニズムを報告できるものと考えているが、少なくとも現時点で、両市内とも、10m～25mの表層の直

下に存在している厚い堆積岩層が増幅の主たる原因であることは間違いないと思われる。ちなみに最近では超高層・免震構造の設計でもときどき参照される防災科技研が公表しているJ-SHISの三次元速度構造を採用して、これら輪島市内2地点での地震基盤からの一次元増幅特性を求めると、その1Hzでの増幅率は2倍程度にしかない。これはJ-SHISの構造には深部堆積盆地構造が含まれていないからである。

3 まとめに代えて

以上、改めて前回の巻頭言「次世代型免震構造のすすめ」の主旨とその工学的意味と有効性を提示し、さらに能登半島地震で明らかとなった、地表からは見えない深部盆地構造の長周期地震動増幅の恐ろしさについて情報共有させていただいた。

現在私の所属する（一財）日本建築総合試験所の試験研究センター構造部数値解析室では、最新の強震動予測技術を駆使して、南海トラフ沿い巨大海溝型地震のサイト波をこの深部堆積盆地構造の影響を含む形で作成し、公表すべく計画中である。これは地震発生が逼迫している関西地域において、作成地域が限定されている基盤促波を補完し、よりレベルの高い地震時の安全性能を確保していただくための試みであり、公表の暁には是非ご活用いただきたい。

[参考文献]

- 1) 辻聖晃, 辻千佳, 片岡奈々美：複数の免震層を有する多段免震構造の地震応答特性, 日本建築学会構造系論文集, No.705, 2014.
- 2) 川瀬博, 仲野健一, 伊藤恵理, 宝音図, 王自謙：2024年能登半島地震の大本災域（珠洲・輪島）における特異な地盤増幅特性, 日本地震工学会2024年大会, B-22-5 (No.89), 2024.
- 3) 川瀬博, 仲野健一, 伊藤恵理：2024年能登半島地震の珠洲・輪島における地盤増幅特性と本震時の非線形化, 日本建築学会2025年大会, 構造II B, 365-366, 2025.
- 4) 仲野健一, 川瀬博, 松島信一：1988年から2016年までに観測された強震記録から分離したサイト特性に関する研究, 日本地震工学会論文集, 19巻, 2号, p.2_1-2_24, 2019.
- 5) 伊藤恵理, 川瀬博, 長嶋史明, 松島信一, 山中宏起：令和6年能登半島地震の震源域の被害集中域における強震動特性の生成要因の解明, 日本地震工学会2025年大会, D-7-1 (No.168), 2025.