学びて朽ちず

志賀敏男先生追悼集

志賀敏男先生、ありがとうございます

和田　章

志賀先生は東北大学の耐震工学の研究グループを率いて来られただけでなく、日本そして世界の耐震工学の進展に大きく貢献されてこられました。小生は直接の教え子ではありませんが、教科書、学会活動および研究論文を通して、多くのことを学びました。言うまでもなく、志賀先生は雲の上のような存在なのですが、三年ほど前にお会いしたとき、〝和田さん頑張って下さい〟と声をかけて下さり、天にも昇る気持ちでいっぱいになったことを昨日のように覚えています。

志賀先生が今の我々にも最も影響を与えている重要なご研究は、「鉄筋コンクリート造建物の震害と壁率」と思います。志賀先生のご研究により、多くの建物が地震被害から救われ、人々の安全な生活が守られていると思います。低層の鉄筋コンクリート造建物の構造計算はややこしいだけでなく、きちんと計算したからといって正解が求まるわけでもない、これを前提に纏められた志賀先生の耐震設計の考え方は、建築計画の自由度を高めたことでも大きな意義があると思います。

一九六八年の十勝沖地震の調査をもとに纏められた有名なグラフ（いわゆる志賀マップ）があり、一階の柱断面積（柱量：$A_c cm^2$）と一階の壁断面積（壁量：$A_w cm^2$）、これらの柱と壁が支えている総床面積：${}_{total}A_f m^2$ および、これに $1000kg/m^2$ を乗じて求めた上部構造の全重量：Wkg をもとに明快な説明がなされています。志賀先生の教科書「構造物の振動」（共立出版一九七六年）には、十勝沖地震時の応答層せん断力係数を〇・七から〇・八程度として、単位面積あたりの建物重量を $1300kg/m^2$ として考えたと書かれているので、上記の全重量：Wkg は十勝沖地震時の一階の応答最大層せん断力に相当します。

縦軸には柱・壁均しのせん断応力度：$W/(A_c+A_w)$、横軸には壁率：$A_w/{}_{total}A_f$ を示しています。さらに右下

がりの曲線として、柱率：$A_c/_{total}A_f$ が 0 から 20 刻みで 100cm²/m² まで、六本示されています。壁率が 0、柱率が 100cm²/m² の場合、柱に生じるせん断応力度は 10kg/cm² となり、柱率が 0、壁率が 50cm²/m² の場合、壁に生じるせん断応力度は 20kg/cm² となるなど、一目で分かるようになっています。

ここで重要なことは、柱・壁均しのせん断応力度が 12kg/cm² を越え、且つ壁のみで水平力に抵抗するとして、そのせん断応力度が 33kg/cm² 以上、つまり壁率が 30cm²/m² の縦線の左側の領域にプロットされる建物に、被害が大きいことが説明されています。

このグラフには右上がりの曲線 $SW=12A_c+33A_w$ について、安全係数Sの等高線が 0.6 から 4.0 まで十二本、示されています。一九八一年の新耐震設計法のルート一の計算式が $W=7A_c+25A_w$ ですから、一階の層せん断力係数が 1.0 の場合は Wkg を一・三倍しなければならないことを考慮して換算すると、柱量と壁量がほぼ同じ場合、安全係数Sとして 1.8 が考慮されたことになります。グラフに戻ってよく見ると、1.8 以S より右下側の領域、つまり柱率と壁率の大きなところ、特に壁率の大きな領域ではほとんど被害が出ていないことが分かります。

東北大学をご卒業された方々だけでなく、鉄筋コンクリート造の建物の耐震問題に関係されているすべての方々には常識のグラフですが、本当に素晴らしいご研究と思います。多くのパラメーターと実際の地震被害を一枚のグラフに纏め上げられたこと、何度見ても感服致します。

「建築物の耐震設計上、耐震壁を活用すべき」というお考えです。関連して思うことをいくつか述べさせていただきます。

一）コンピューターで計算すれば何でも答えが出てくる時代になったからこそ、全体を一度につかむ志賀先生のような考えが重要だと感じます。計算を精緻にすればするほど安全性が高まると思われがちですが、逆に安全でない建物が増えてしまうように感じます。

二）柱量と壁量に乗じる係数が12と33、または7と25のように壁の方に大きな数値が使われていることに注目すべきと考えます。柱と壁は形が異なり、柱は棒状で壁は面状ですから、力学的な考察から壁に大きな係数が用いられるのは当然ですが、建物の設計という観点でこの数値を見ると、壁を用いると柱の場合に比べ抵抗力が効率よく増えることを表しており、壁の活用は、構造物の耐震性を高めるのに非常に有効なことが分かります。

三）柱と耐震壁の基本的な違いを考えてみます。耐震設計では、X方向の計算とY方向の計算をしますが、柱：A_cは両方向の計算に算入されます。要するに一人二役が強要されます。一方、壁はその面に直交方向の抵抗力は無視していますから、それぞれの方向の壁：xA_wまたはyA_wだけを算入します。要するに一人一役ですので負担が楽になります。四十五度方向に水平力が作用する場合、柱の抵抗力は同じ値$12A_c$であるにもかかわらず、壁の抵抗力は$\frac{1}{\sqrt{2}}33(xA_w+yA_w)$となり、両方向の壁量が同じときは、XまたはY方向に比べ一・四倍に働くことが期待でき、非常に壁の効果が大きいことが分かります。この効果により、壁の多い建物の地震被害が少ないことも説明できるように思いますし、通常の場合、四十五度方向の計算をしなくても良い理由になります。

四）壁の多い強度指向型の建物と、壁の少ない靭性指向型の建物の地震被害率を比較してみます。強度型は粘りがないとされ、靭性型に比べ必要な水平耐力を大きく設定しています。ある大きな都市に大地震が襲ったとき、都市全体が震度七になるわけではなく、地図上には震度の等高線が描けます。震度の大きなゾーンでは、強度型建物も靭性型建物も想定した大きな損傷を受けるでしょう。しかし、この周辺には震度が中程度の地区があり、ここでは強度型建物は強いので無損傷、靭性型建物のみが塑性変形を起こし損傷を受けることになります。地震後の統計資料では必ず、壁の多い強度型の建物群の被害率が靭性型の建物群に比べ、小さくなる必然があります。我々は二段階設計を行っていますが、一次設計に比べ、二次

設計の設計用の地震動は五倍ですが、実際の地震動の強さは場所によって連続的に変化しますから、建物群の被害率は設計法によって異なってくるはずです。

五）最近では構造計算を手計算で行う人は少なくなり、鉛直荷重時の応力計算もマトリックス構造解析法を用いるようになっているかも知れません。従来の手計算では、鉛直荷重を基礎まで伝達するのは柱の役割であり、壁はその階の壁自体の重量を、梁を介さずに両側の柱に伝える程度の剛性と強度はあるとしつつも、上層部の鉛直荷重を基礎まで伝達する役割は持たせていませんでした。大きな地震が起きて、壁に多くのせん断ひび割れが生じたとしても、柱は全鉛直荷重を負担するとして太めに設計してあるため、これが支持能力を失わなければ建物の崩壊は防げることになります。このように、手計算には上手に冗長性を持たせる方法が組み込まれていたといえます。コンピューター時代だからといって、設計している建物を正確にモデル化すれば安全な建物が設計できるわけではありません。従来のこの計算法が、耐震壁の多い建物が大地震を受けても壊れ難いことの理由になっているとも考えられます。

六）鉄筋コンクリート造建物の耐震性の向上に連層耐震壁の果たす効果も大きいと思います。連層耐震壁が十分なせん断耐力を有する場合、特定層の崩壊を防ぐ効果があり、建物全体が一丸となって地震に抵抗するようになると考えます。耐震設計を行う上で考えていることと、実際の建物の挙動が一致しやすいという特徴を持っているようにも思います。

ここまで、耐震壁の効用について書かせていただきましたが、最後に志賀先生が教科書の中で我々に伝えている大切な言葉を引用させて戴きます。

「また、地震のたびに同じような被害を繰り返しているのに気づく。過去の地震の貴重な教訓を忘れたために下された自然の裁きともとれる。一方、地震のたびごとに、それまで知られていなかった新しい種類の被害が出ているのに気づく。時代の移り変わりによって、建物の性質とその環境が変わってきている

ためであろう。災害は、人間社会の自然の暴威に対する応答結果とみることもできる。社会条件の変化にともなって災害の様相と程度が変わるのも当然であろう。社会が高度化し複雑化すればするほど、災害はその激甚の度を増す性質をもっていることを忘れてはならない。」

志賀敏男先生のご冥福をお祈り致します。

（元日本建築学会副会長・東京工業大学教授）