

## PPバンドを用いた低価格耐震工法の導入効果に関する研究

東京大学生産技術研究所 正会員 入谷 聡  
 東京大学生産技術研究所 正会員 目黒 公郎

## 1. はじめに

途上国では、マグニチュードや揺れの強さの割に多数の死傷者が発生する。救命救助活動の遅れ等が主因と考えられることが多いが、これは完全に間違っている。原因は被災地域に存在する建物の耐震性が低いためであり、この課題を解決しない限り死傷者を減らすことはできない。耐震性の低い建物の代表が、石やレンガ、ブロックなどを積み上げてつくる組積造と呼ばれる建物である。これらの建物は、一般的に Non-Engineered (ノン・エンジニアード) 建物と呼ばれ、専門的な知識や経験のない一般市民が、現地ですべての材料を入手して自分で建ててしまう建物である。ゆえにノン・エンジニアード建物は、耐震基準の有無やその良し悪しに無関係に建設される。組積造の耐震補強には、対象地域への適用性や許容性(ローカル・アベイラビリティ、ローカル・アプリカビリティ、ローカル・アクセプタビリティ)に配慮することは不可欠である。すなわち、現地ですべての材料を入手できる材料を用いた簡単な工法であること、そして現地の文化や宗教を含めた生活様式を考慮して許容されるものであること、そして同様に許容される推進システムがあることが重要である。

上記のような認識に立ち、東京大学目黒研究室では、世界各地で安価に入手できる PP バンド(梱包用荷造り紐)を用いた、非常に簡単であるにもかかわらず著しく耐震性を向上させる工法を開発している<sup>1)</sup>。この工法は、途上国の組積造1軒を30~100米ドル程度で補強できる。この工法が地震多発地域の途上国に普及すれば、組積造住宅の崩壊による地震災害を大幅に軽減されることが期待され、現在世界の様々な国々での同工法の検討が始まっている。この動きをさらに加速するには、提案工法の効果をわかりやすく伝えるとともに、それを推進する社会制度や環境づくりが重要である。そこで本研究では、提案手法による人的被害および経済的被害の軽減効果の定量的評価と、補強を促進するいくつかの政策を提案し、その効果を評価する。

## 2. 提案補強法による死者数軽減効果の評価

被災地の組積造建物の補強前後の被害関数の変化を用いて、近年発生した組積造被害を主とする地震による人的被害軽減効果を分析する。対象とする地震は、イラン・バム地震(2003年、死者43,200人)、パキスタン北部・カシミール地震(2005年、死者75,036人)、インドネシア・ジャワ地震(2005年、死者5,699人)である。死者数の推計は、全壊建物と半壊建物を原因とする死者数の比率を8対2と仮定し、それぞれの被災建物数と死者数から被災建物当たりの死者の発生率を求め、耐震補強によ

て減少する被災建物による軽減死者数を算出する。すなわち、地震動強度別の実際の被災建物数と、補強済み建物を対象とした被災建物数を算出し、両者の比較から死者軽減効果を評価する。

上記の評価の結果、カシミール地震では、事前に提案工法で被災地域の建物が全て補強されていたと仮定すると、総死者数が75,036人から7,310人へと約90%軽減できることがわかった。減少率は全壊建物による死者の軽減効果が高く、補強前の3%程度の死者しか出ないと想定される。これは補強前では多数発生していた MMI6~10 の地域での全壊建物が補強後にはほとんどなくなることに起因する。半壊に関する死者数軽減効果は全壊ほど高くないが、それでも約1/3に押さえることができる。ただし組積造の半壊で死亡する例は、落下した組積の下敷きやその衝突などであり、提案方法による補強後は、組積の落下がほとんどなくなることから、実際はもっと効果が高いと考えられる。

同様の評価を行った結果、バム地域における死者数は43,200人から7,271人(約83%減少)へ、ジャワ地域における死者数は5,699人から837人(約85%減少)へ軽減できることがわかった。

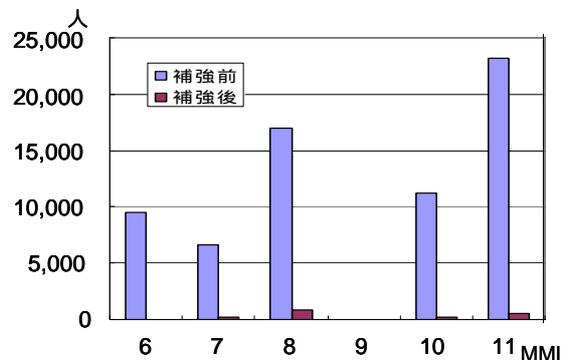


図-1 提案工法による死者数軽減効果評価 (カシミール地震)

## 3. 提案補強法による経済負担軽減効果の評価

次に、耐震補強を推進するための様々な政策について検討する。PPバンド耐震補強法は、標準的な家屋1棟の材料費がカシミール地域で30米ドル程度と非常に安価である。しかし途上国を対象にした場合に、現地ですべての材料を入手して自分たちで家をつくって住んでいる人たちにとっては、経済的に大きな負担である。そこで私たちは、以下で説明するような「2段階インセンティブシステム」を提案し、耐震補強を推進する環境整備に努めている。以下ではこのシステムの概要と効果について説明する。

キーワード：組積造構造物、耐震補強、PPバンド耐震補強、被害軽減

〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1 東京大学生産技術研究所 TEL:03-5452-6436, FAX: 03-5452-6438

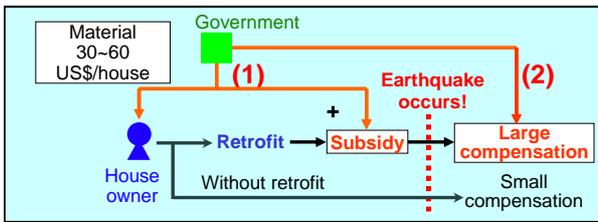


図-2 2段階インセンティブシステム

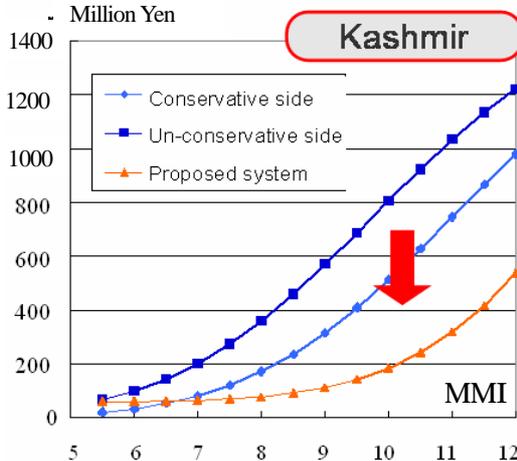


図-3 提案システムによる地震時の行政の負担軽減効果  
(各MMI震度エリア当たり1万棟の組積造を仮定)

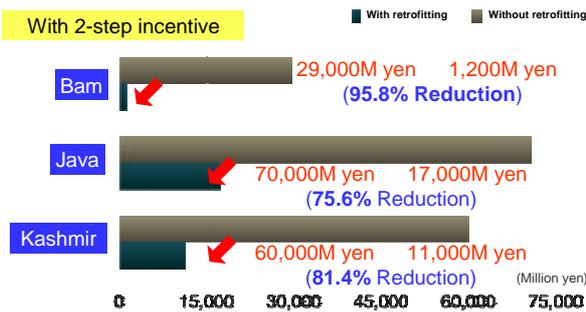


図-4 実際の震度分布を仮定した場合の行政の負担軽減効果

途上国で耐震性の低い建物に住む人々は補強材料 (PP バンド) を購入する経済的余裕がない場合も多い。そこでこれを行政(あるいは国際援助機関)が買い与え補強するように指導する。そして補強を完了したことを確認した際に、さらに材料費程度の報奨金(図-2 の+) を与える。これが第1 インセンティブである。材料を提供した場合に、補強法そのものは簡単なもので、専門技術者でなくとも地域住民で対応できるが、それを補強に使わないで転売される可能性が高い。第1 インセンティブはこれを阻止する意味を持っている。材料費が捻出できない人々にとって、材料費相当の報奨金は大きなインセンティブになる。しかし行政(国際援助機関)にとっては、1 世帯 60 ドル程度の出費は大きなものではない。耐震改修を済ませると、PP バンド補強工法による補強家屋と非補強家屋の外見上の違いはなくなる。この点がローカル・アクセプタブルたる理由の一つだが、一方で、将来の地震時まで、住民が補強効果を意識することはない。将来の地震時に被害が全体として大幅に軽減されることは確実だが、補強済建物でも立地地盤の変状や地震動が著しく強くなった場合にはある程度の被災は免れない。その

場合 1 住民の視点からは「せっかく補強したのに壊れてしまった」という印象になる。今回取り上げた3地震の被災地では、全壊建物の所有者には、建物再建費用の 1/3 程度の支援・見舞金が行政から支払われている。事前の補強によって建物の耐震性が高まっていれば、行政による出費は大幅に軽減されるので、事後の行政の出費軽減に貢献する補強済み建物が被災した場合には、非補強建物の被災時よりも優遇支援する(第2 インセンティブ)ことで、耐震補強の重要性とありがたみを再度確認してもらおう。

以上のような「2段階インセンティブシステム」の効果を、各震度(MMI)地域別に1万棟の組積造住宅が存在していることを仮定して、将来の地震時の住民側と行政側の負担額の変化を算出する。補強ならびに復旧に必要なコストと住宅の条件は、各国の地域特性を踏まえて設定した。評価結果の一部を図-3 と図-4 に示す。

この提案制度では、市民は事前に材料費+ の支援を受け、その後の地震で被災した場合には、さらに手厚い見舞金(非補強家屋の2倍)を受けることを条件としているので、市民の視点から見た場合に将来の地震時の負担額が大幅に軽減されるのは自明である。そこでここでは、行政の視点からの地震後に必要となる経費の軽減効果を議論する。

図-3 の上の2本曲線は、カシミール地域の非補強組積造の安全側と危険側の組積造の被害関数を基にした行政の負担額である。ほとんどの震度階で、提案制度があった場合の経費が軽減されることがわかる。特に震度階 9 や 10 の場合の軽減効果が高い。ところで、この検討は各 MMI 震度階の地域に 1 万棟の組積造が存在していることを仮定しているが、実際の地震動の強度分布を考えると、本当に強く揺れている地域の面積は小さく、揺れの小さな面積のほうが広いので、実際と同じ震度分布を仮定した場合の効果は図-3 の結果とは異なる。そこで対象となる3地震の実際の震度分布を対象に、行政の負担額の変化を算出したものが図-4 の結果である。図を見ると、全てのケースで、補強済みの住宅が被災した場合に費補強住宅の2倍の見舞金を支払ったとしても、行政の負担金は大幅に軽減できるとことがわかる。

4. おわりに

本研究では、目黒らが提案する組積造の PP バンド補強工法を世界に広く普及させるために、提案工法の効果を知りやすく伝えるとともに、それを推進する社会制度や環境づくりに関して検討した。具体的には、提案手法による人的被害および経済的被害の軽減効果の定量的評価するとともに、補強を推進する「2段階インセンティブシステム」を提案し、その高い効果を証明した。

バム地震、カシミール地震、ジャワ地震を対象とした分析結果からは、提案手法によって人的被害が80%以上、行政による事後の必要経費も75%以上軽減できることが示された。

参考文献

1) 目黒公郎：2005年パキスタン北部地震による一般住宅の被害と簡便で低価格な耐震補強法の提案，自然災害科学，Vol.25, No.3, pp.381-392，2006.12.