

## アンタキヤの伝統的住宅建築の耐震化の提案（理想モデル）

- ① 玉石(栗石)組積造工法に使用するモルタル強度を強化する。
- ② 鉄筋コンクリート造マットスラブの浮き基礎(ベタ基礎)とする。
- ③ 2階の床を鉄筋コンクリート床版とし、水平剛性を確保する。
- ④ 玉石(栗石)組積造壁に配筋し、礎版・床版と剛接する。
- ⑤ 2階の木造の接合部強度を強化する。

### ① 玉石(栗石)組積造工法に使用するモルタル強度を強化する。

2023年2月の地震により壊滅状態となったアンタキヤ旧市街を、耐震化して復興する、あるいは歴史的景観を再現しつつ耐震化することを目指すならば、様々な構法が考えられる。本提案では、歴史的景観を再築するだけでなく、街並の景観を醸成している建築の伝統的構法の継承を勘案しつつ、その耐震化を計る方策を目指す。一方、伝統構法には歴史的に一定程度の耐震性があり、伝統構法が正統に施工されていたならば、倒壊は免れたとの見解もあるが、その客観的検証、あるいは正統的構法の仕様化は容易とは言えない。したがって、本提案では伝統的工法を現代的に改良することで、耐震性を強化するものとする。なお、アンタキヤ旧市街には、様々な時代の多様な歴史的建築物が存在し、その規模も構法も異なるため、本提案では最も多く存在する住宅建築を対象とする。

アンタキヤの歴史的建築物として登録、または登録申請されている住宅建築の大部分は、コートハウス式の2階建住宅である。1階は玉石(栗石)組積造(rubble-stone masonry)、2階はトルコ式枠組構法の木造瓦葺きで、1階の中庭側外壁は切石張り、2階の外壁はBağdadiと呼ばれる木製ラス下地にプラスター塗りが一般的である。

建物の耐震性を左右する壁量だけを見れば、日本の伝統的住宅より遙かに多く、外形上は耐震性の高い形状を有している。それにも関わらず倒壊に至った要因は、壁体の強度および靱性が脆弱であったからと言わざるを得ない。

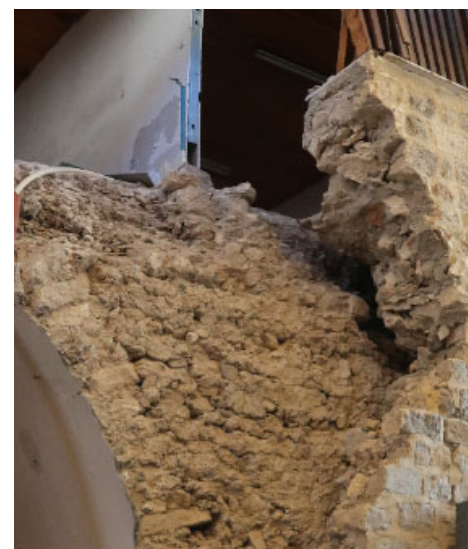
アンタキヤの伝統的な玉石組積造壁(壁厚40~50cm程度)は、主に石灰岩系または大理石系の玉石(粒径15~20cm程度)の間に小石とモルタルを詰めながら積み上げる工法で築造されるが、アース・モルタル(またはマッド・モルタルあるいは石灰モルタル)と呼ばれる土に石灰・石膏などを混ぜて水で練ったモルタルが使用される。鈹物の骨材とモルタルと言う、出来形の組成を見る限り、玉石組積造壁体は古代のローマン・コンクリートあるいは現代のダム用コンクリート(粗骨材最大粒径150mm)と変わらない。したがって、工法は異なるが、材料力学的にはコンクリートの一種と言える。組積造でも切石積みや焼成煉瓦積みでは空積みでも成立つが、玉石積みではモルタルの圧縮強度および付着強度がなければ組積造として成立たず、寧ろコンクリート壁体と看做すべき構造体である。

コンクリートの破壊強度は、骨材強度・モルタル強度・骨材とモルタルの付着強度の内で最小の値で決まるが、アンタキヤ旧市街の玉石組積壁の破壊性状を見る限り、モルタルの破壊が組積造壁の破壊を引き起こしている。アース・モルタルの圧縮強度は、現代的なセメント・モルタルの 1/10 程度しかない。したがって、玉石組積造に現代のセメント・モルタルを使用すれば、その強度はセメント・コンクリート並に強化され、耐震性強度も飛躍的に改善されることが期待できる。



貧弱なアース・モルタル

他方、壁体強度を強化せずとも、鉄筋補強または繊維補強により壁体の靱性を増強し、耐震性を改善することも考えられるが、組積造壁は脆く、補強材が補強効果を発揮する前に、僅かな変形でひび割れて損傷する。壁体がひび割れても、補強材により耐力が維持され、建物の崩壊を防ぐが、組積造壁に生じた損傷は復元することなく残存し、地震の繰返しで蓄積する。即ち、地震により損傷した建物の耐震性は劣化し、残存する耐震性は保証できず、継続使用が危ぶまれる。



玉石組積造壁体の破壊状態

したがって、持続的な耐震性を向上するためには、地震による損傷を最小限に抑えることが望まれる。そのため、玉石組積造に現代のセメント・モルタルを使用し、壁体強度を強化することを、第一に提案する。なお、アース・モルタルには微細な空隙があり、日本の土壁と同様に吸放湿性に優れ、良好な室内環境をもたらすと言われているが、微細な空隙は同時に強度低下をもたらす。即ち、モルタルの強度と吸放湿性は相反するが、耐震性向上が優先されるべきと考える。

## ② 鉄筋コンクリート造マットスラブの浮き基礎(ベタ基礎)とする。

アンタキヤ旧市街は、アンタキヤ地溝帯の東南端に位置し、ハビビネッジャー山脈の裾野および段丘上にアシ川のもたらした土砂が堆積した台地に位置する。アンタキヤの長い歴史から、地表付近には遺跡・遺構・遺物が埋没していると推察できるが、震災後アンタキヤのギリシャ正教会付近で行なわれたボーリング調査によれば、地表の 3m 程度は瓦礫の層、その下部 4m 程度は固結した沖積粘性土層、地表から 7m 以深は強風化岩層であった。



露呈したローマ時代の暗渠

したがって、表層の瓦礫の堆積層を除けば、低層住宅を支持する地盤としては、十分な強度を有し、

沈下が生じる可能性も低い。瓦礫の堆積層を貫く杭基礎も考えられるが、遺跡の保存を考慮するならば非侵襲的な基礎工法が求められる。

一方、上部の玉石組積造壁は脆く、僅かな変形あるいは不同沈下でもひび割れる可能性があり、剛性の高い基礎が求められる。そこで、鉄筋コンクリート造マット・スラブ(1枚の厚い礎版)の浮き基礎(raft foundation)とすることを提案する。

マット・スラブとすることで、上部の玉石組積造壁を一体化し、不同沈下や局所的な水平移動を防ぐことができる。同時に、浮き基礎(ベタ基礎)とすることで、地反力を平均化し、地下に埋設された遺跡・遺物に対する影響を最小限に留めることもできる。

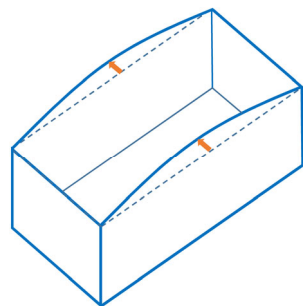
地下に埋没する瓦礫の堆積層の力学特性は予測出来ないため、地震により建物が傾く可能性もあるが、建物が傾いたとしても、マット・スラブとすることで、建物が変形することなく全体的に傾くことになる。また、傾いたとしても、マットスラブに削孔し、礎版と地盤の間にモルタルを圧入することで、建物の傾きは容易に修正できる。

### ③ 2階の床を鉄筋コンクリート床版とし、水平剛性を確保する。

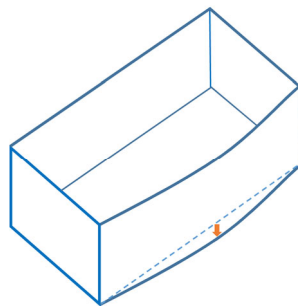
アンタキヤの伝統的住宅建築では、1階の玉石組積造壁の上部には、木造の梁を架け、その上に木造の床組みが敷かれている。組積造壁は面内(in-plane)水平力に対しては強度および剛性を有するが、面外(out-of-plane)水平力に対しては脆弱である。したがって、組積造が耐震性を有するためには、壁体に生じる面外水平力を床面により直交配置された壁へ(面内水平力として)伝達する必要があり、床面は必要不可欠な構造体である。



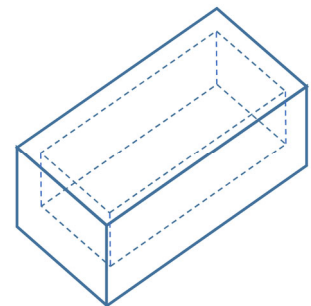
玉石組積壁と木造床



壁上部の面外変形



壁下部の不同沈下



局部変形を生じない剛強な箱状構造

て強度を有したとしても、木材は他の建築材料に比べて剛性が低く、十分な水平剛性を確保できない。

したがって、玉石組積造壁の頂部には、鉄筋コンクリート造床版を設け、各壁体を一体化することを提案する。鉄筋コンクリート造床版にすることで、床面の水平剛性を木

造床の10倍以上確保することができる。なお、伝統的な住宅の平面に限れば、床版の張間は4m以下であり、床梁を設けることなく、1枚の床版で張り渡すことができる。

#### ④ 玉石(栗石)組積造壁に配筋し、礎版・床版と剛接する。

組積造壁の底部には、鉄筋コンクリート造礎版を、頂部には鉄筋コンクリート造床版を配することで、組積造壁体を一体化し、剛強な箱状の構造体を形成できるが、このような箱状の構造体は極めて高い耐震性を有する。その構造は日本の鉄筋コンクリート造壁式構造に相当し、過去の震災に於いて、その耐震性は実証されている。

箱状の構造体を形成するためには、礎版と組積造壁、組積造壁と床版の接合を確実にする必要がある。そのために、組積造壁体にも最小限の鉄筋を配筋し、鉄筋により接合部の強度を確保することを提案する。

なお、組積造壁体に配筋する鉄筋は、壁体の損傷強度を高めるものではないが、乾燥収縮ひび割れの拡大や地震による想定外の崩壊を防ぐこともできる。

#### ⑤ 2階の木造の接合部強度を強化する。

1階の玉石組積造を閉じた箱状の構造体とすることで、高い水平剛性を確保できるので、2階の木造構造体に対する地震力の増幅度を低く抑えることができる。

アンタキヤの伝統的な木造構法はトルコ式の枠組構法であり、現在トルコで常用されている木造枠組構法と基本的に大差はないが、現行の枠組構法では、トルコ建築耐震規準(TBEC-2018)でも規定されているように、筋違いより合板張りが多用されている。

日本の軸組構法とは異なり、枠組構法の接合部は剛接ではないので、建方に於いて骨組の安定を保つためにも筋違い



玉石組積壁と Bağdadi 外壁

が必要となるが、筋違いの量および配置は建物により多様である。TBEC-2018の規定を満たす筋違い、あるいは筋違いに替る合板張りが求められる。また、屋根面の面内水平耐力および剛性は、野地板張りで確保できるためか、TBEC-2018には屋根面の規定が明記されていないが、屋根面の面内水平耐力を確保できる接合が求められる。

合板や断熱材あるいは接合金物を用いた現代的なトルコの木造枠組構法は、日本の木造枠組構法とほぼ同じで、高い耐震性を有すると考えられ、TBEC-2018の規定を遵守するならば、耐震性は確保される。

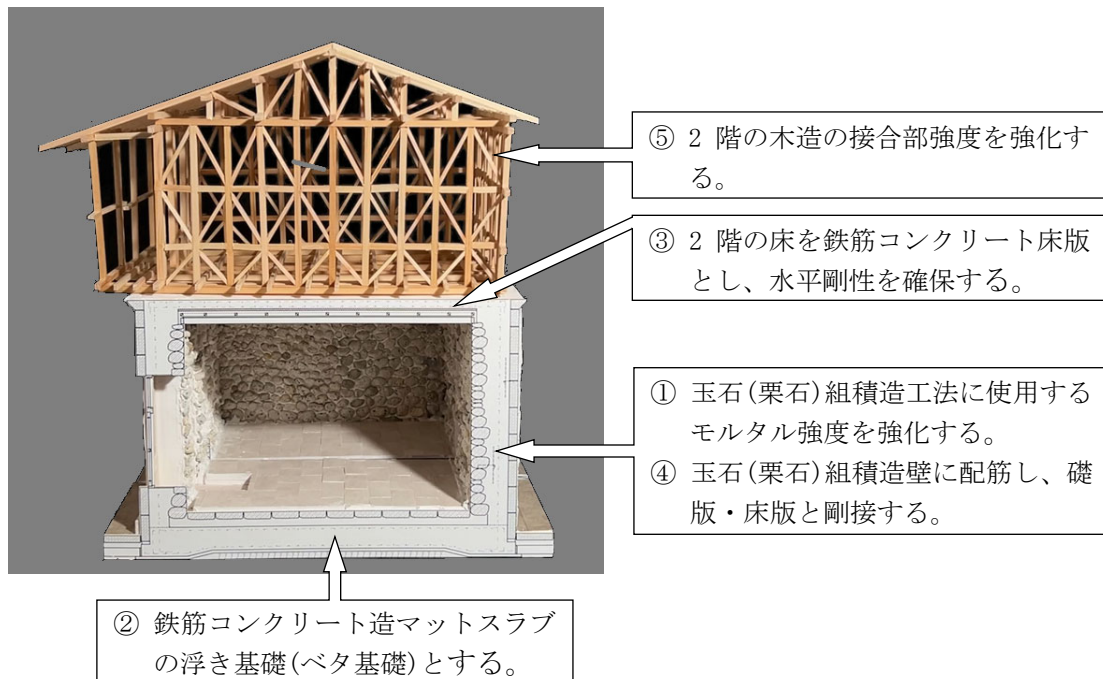
他方、アンタキヤの伝統的な木造枠組構法では、合板張りに代り筋違いおよび木製ラス(Bağdadi)が、金物とビスに代り釘が、断熱材に代り小石や土壁が用いられており、現

行の枠組構法に比べれば、耐力および剛性が劣るだけでなく、重量も大きくなっている。したがって、出来る限り現行の枠組構法に近づける改良が望まれるところである。

しかしながら、伝統構法を継承することも同時に求められる。地震により木造建物が崩壊するとき、木材が破壊する以前に接合部が破損し、架構が分解することで、建物が崩壊に至ると言われている。したがって、伝統枠組構法の耐震性を強化するためには、TBEC-2018の規定に則った筋違いを配することは勿論ではあるが、接合部の強度を確保することを提案する。

なお、アンタキヤの被災地では、木製ラス下地にプラスターを塗った天井が、震災で崩落している光景が散見されるが、伝統的木造枠組構法では建物の剛性が不足し、脆い天井の破損を引き起こす可能性が高い。崩落により人命に危害を及ぼす可能性のある非構造部材も見直すことが望まれる。

#### 提案に基づき耐震化したアンタキヤの伝統的住宅建築の模型写真



#### 参考文献

- 1) Bozyigit B., et al.: Investigation of Stone Masonry Construction Techniques and Material Properties in Hatay and Osmaniye after the 2023 Turkey Earthquake Sequence, Conference paper of 18th World Conference on Earthquake Engineering (WCEE2024) at Milan, 2024.
- 2) KESKA ZEMİN YAPI LABORATUVARI ve MÜHENDİSLİK: T.C. HATAY İLİ, ANTAKYA İLÇESİ, 3.MINTIKA, ANTAKYA RUM ORTODOKS KİLİSESİ VAKFI ADINA KAYITLI 0 ADA, 53 PARSELDE YAPILMASI DÜŞÜNÜLEN YAPIYA AİT, 2024. (地質調査報告書)