

アンタキヤの伝統的住宅建築の耐震改修設計の提案（構造設計提案）

震災の要因

提案対象とする住宅は、玉石組積造平屋建てであった建物の一部に2階を木造で増築している。2階増築部の妻壁を組積造とし、1階の組積造間仕切り壁の上部に増設しているが、間仕切り壁に大きな開口を開けたため、地震に依り2階の妻壁が崩落したことが、甚大な被害を及ぼす要因と推察される。

本物件に限らず、震害を受けた伝統的建築物には、耐震性を無視した無秩序な増改築が行なわれたと推測されるものが、散見される。



対象住宅：

倒壊した2階増築部の東妻壁

復興の状況

公共あるいは民間により、一部の街並では復興工事が進行している。その多くの建物は、1階を鉄筋コンクリート造ラーメン構造としているが、伝統的な外観とするため組積造帳壁としている。また、2階も伝統的な木造枠組構法としている。ただし、外見から構造形式が定かに判別出来ないような復興建物も散見される。



耐震化の方針

上記のような、現在工事中の復興建物は、一定程度の耐震性を有し、外観上も歴史的街並を再現するものと考えられる。しかし、アンタキヤにおいて歴史的保存建物として登録されていた住宅群とは、建物の構造および構法が明らかに異なる。そこで本提案では、単に耐震性を向上し、外見上の景観を再現するのではなく、伝統的工法を維持しつつ、耐震性の向上を計る構法を目指す。そのことで、伝統的景観を保存するだけでなく、伝統的工法の継承を計るものとする。具体的には、下記の5項目を提案する。

- 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。
- 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 1階組積造壁頂部を鉄筋コンクリート造臥梁で繋ぎ、水平剛性を確保する。
- ④ 玉石(栗石)組積造壁に配筋し、礎版・臥梁と緊結する。
- ⑤ 2階の枠組構法木造の耐震性を改善する。

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。

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。本提案の対象とする住宅建物もその典型と言える。ただし、伝統的工法に則っているのは、敷地北側の主屋1棟だけで、組積造壁に木造瓦葺き屋根を載せた平屋建てであったものの西端部に、木造で一部2階が増築されたものと推察される。

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。本件に限れば、崩壊の主な要因は、1階の組積造妻壁および間仕切り壁の上に増設した、2階の木造増築部の組積造妻壁の内で、東側の妻壁が倒壊したことで推察される。また、桁行を3等分するように配置されていた組積造間仕切り壁が、部分的に撤去されて開口が設けられていたことも、上部に増設した妻壁の倒壊を招く要因だったと思われる。もし2階の増築が行なわれず、平屋建のままであれば、倒壊を免れたとも考えられるが、倒壊に至らずとも何らかの損傷はあったものと考えられる。しかし、多くの伝統的工法による住宅が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)と変わらず、材料力学的にはコンクリートの一種と言える。切石積みや焼成煉瓦積みの組積造では空積みでも一定程度の安定性を有するが、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。

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程度しかなく、このような組積造の破壊強度は、モルタル強度または玉石とモルタルの付着強度の内で最小の値で決まる。現に、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。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・



貧弱なアース・モルタル

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。

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

の繰返して蓄積する。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。

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。そのためにも、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、微細な空隙を有するアース・モルタルは、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も言われているが、空隙は同時に強度低下をもたらすため、耐震性向上を優先する提案とした。

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。

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。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、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。

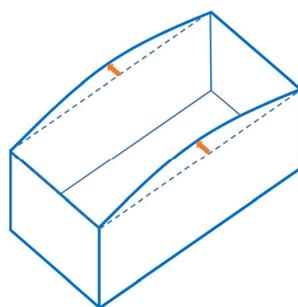


露呈したローマ時代の暗渠

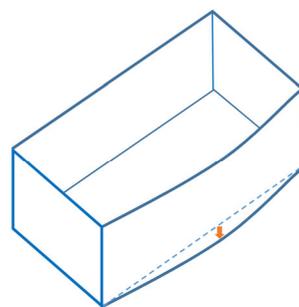
一方、上部の玉石組積造壁は脆く、僅かな変形あるいは不同沈下でもひび割れる可能性があり、剛性の高い基礎が求められる。そこで、鉄筋コンクリート造マットスラブ(1枚の厚い礎版)の浮き基礎(raft foundation)とすることを提案する。

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。

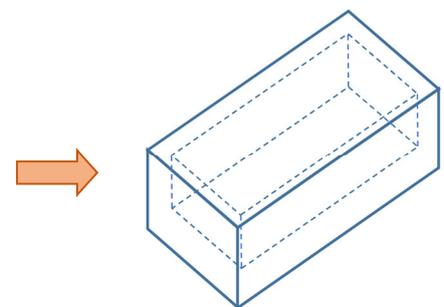
地下に埋没する瓦礫の堆積層の力学特性は予測出来ないため、地震により建物が傾く可能性もあるが、建物が傾いたとしても、マットスラブとすることで、建物が変形することなく全体的に傾くことになる。また、傾いたとしても、マットスラブに削孔し、礎版と地盤の間にモルタルを圧入することで、建物の傾きは容易に修正できる。



壁上部の面外変形



壁下部の不同沈下



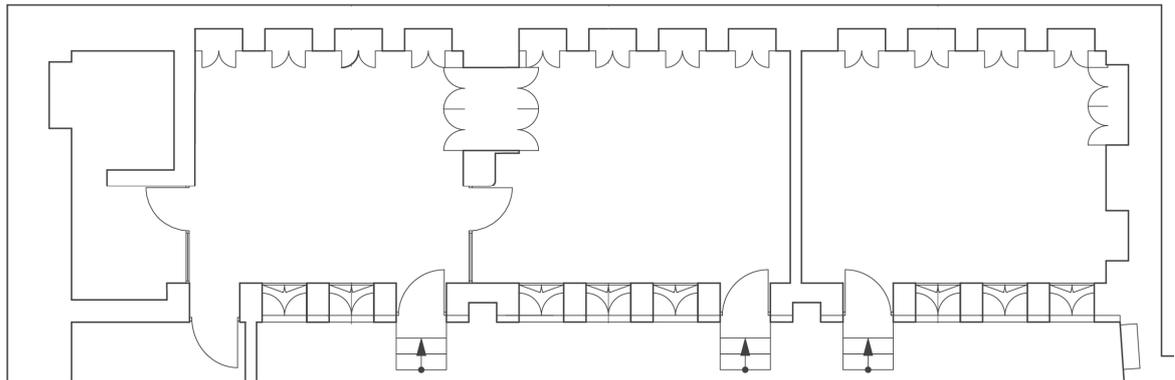
局所変形を生じない剛強な箱状構造

③ 1階組積造壁頂部を鉄筋コンクリート造臥梁で繋ぎ、水平剛性を確保する。

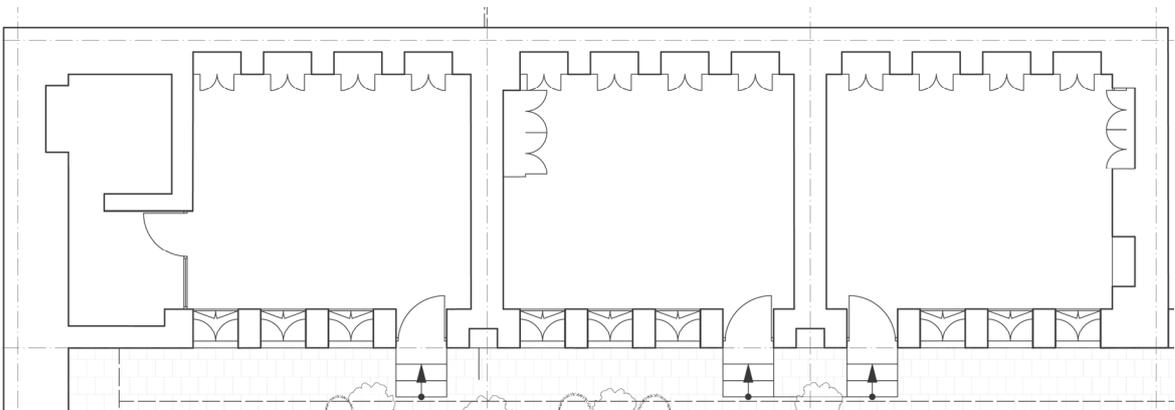
アンタキヤの伝統的住宅建築では、1階の玉石組積造壁の上部には、木造の梁を架け、その上に木造の床組または屋根組が敷かれている。組積造壁は面内(in-plane)水平力に対しては強度および剛性を有するが、面外(out-of-plane)水平力に対しては脆弱である。そのため、各壁体が一体的に地震力に抗するように、床面および屋根面に鉄筋コンクリート造の床版を設けるのが最善の策ではある。

しかし、本対象建物は大部分が平屋であること、および桁行の概ね3等分点に間仕切り壁を有し、組積造壁体で囲われる部屋の大きさが概ね5.5m×5.5mと、トルコ建築耐震規準(TBEC-2018)を満たすことを勘案し、組積造壁体の上部には鉄筋コンクリート造の臥梁(bond-beam)を設けることとした。

また、組積造間仕切り壁の一部あるいは全部が、撤去または削減されていたと推察されるため、提案では、耐震性の向上を計るため、元来あったと推定される構造体を設ける計画とした。なお、アンタキヤの伝統的住居では、基本的に各部屋毎に仕切られ、1階では中庭、2階ではテラスを介して、往来する形式になっている。そのため、各部屋毎に外部への出入り口が設けられている。



対象住宅：震災前の原状平面図



提案平面図

④ 玉石(栗石)組積造壁に配筋し、礎版・臥梁と緊結する。

一枚の鉄筋コンクリート造礎版上に、適切な間隔で隔壁を有する組積造壁を載せ、更に、壁体頂部を鉄筋コンクリート造臥梁(bond-beam)で繋ぐことで、組積造壁体を一体化し、剛強な箱状の構造体を形成する提案とした。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、組積造壁と臥梁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。また、本構造は鉄筋補強組積造ではないが、トルコ建築耐震規準(TBEC-2018)では、鉄筋補強組積造には鉄筋を間隔 600mm 以下に配筋することが規定されている。

⑤ 2階の枠組構法木造の耐震性を改善する。

1階を閉じた箱状の玉石組積造構造体とすることで、高い水平剛性が確保できるため、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。

枠組構法の接合部は剛接ではなく、建方時の骨組の安定を保つためにも筋違いが必要となるが、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。

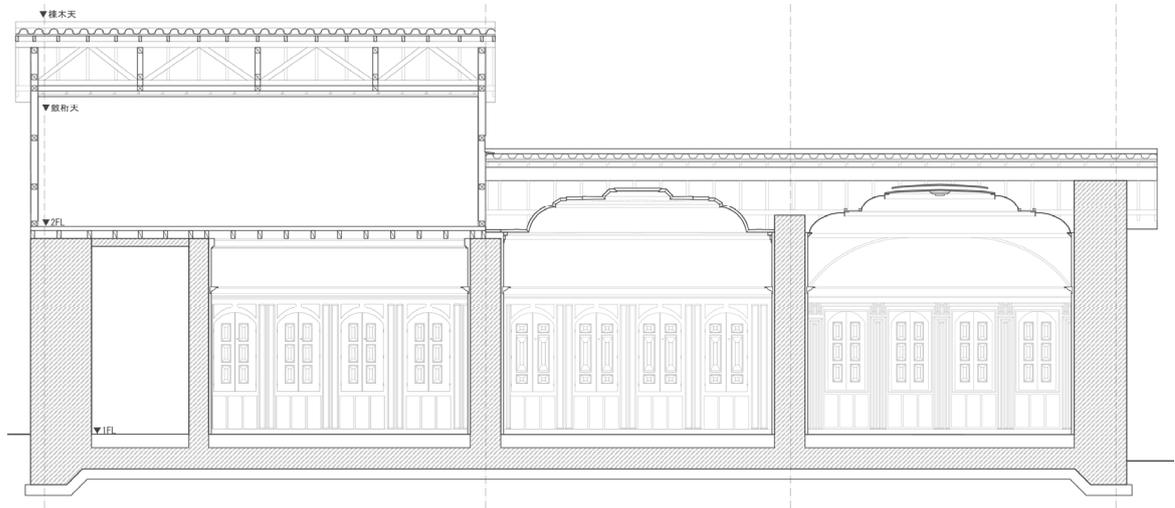
他方、アンタキヤの伝統的な木造枠組構法では、合板張りに代り筋違いおよび木製ラス(Bağdadi)が、金物とビスに代り釘が、断熱材に代り小石や土壁が用いられており、現行の枠組構法に比べれば、耐力および剛性が劣るだけでなく、重量も増加するので、出来る限り現行の枠組構法に近づける改良が望まれるところである。

しかしながら、本件に限れば、2階の木造部は小規模であり、筋違いが十分に配されるのであれば、伝統構法に依っても、耐震性は十分確保されるものと考えられる。そのことより



玉石組積壁と Bağdadi 外壁の例

も、本件の震害の要因は、2階の妻壁を組積造にしたことにあると考えられる。そもそも、妻壁に生じる面外方向の地震力を、木造の構造あるいは木造との接合で耐えることは出来ない。そのため、提案では2階木造増築部も残置することとするが、両妻壁は木造とし、組積造は1階部分に限定した。



提案断面図

1階の間仕切り壁を再現し、2階の組積造妻壁を排し、2階を純木造とした。