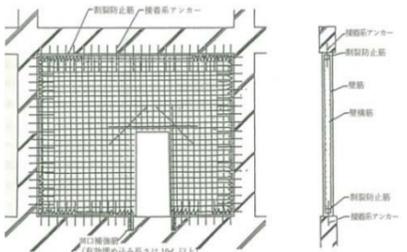
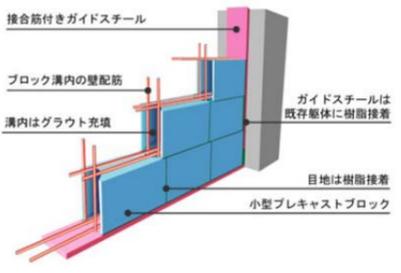
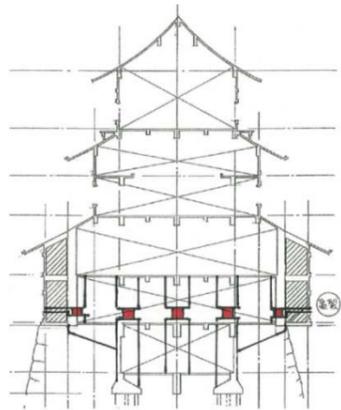


資料② 耐震診断結果に基づいた耐震改修方法の比較

1. 補強の目標： 「I s ≧0.6」

2. 構造的特徴： 本建物の1,2階の外周の柱および壁は、片持ち梁上の張出し部にある。  
 柱フープおよび梁スターラップは設計図書にフック形状が明記されていないことから、建築当時の施工方法を考慮して診断計算では、90度フックと想定し、フープ、スターラップ間隔を設計値の2倍としている。このため、靱性に乏しい建物となっている。  
 補強では、X方向の2, 4, 5, 7通り、Y方向のB, D, F通りを中心的に行い、かつ、構造部材が鉛直方向に連続していることが望ましい。  
 なお、壁補強量を減らすためには、片持ち梁に対するスラブ支持力の強化が有効と思われる。

3. 各工法の比較検討

	在来工法 (RC造耐震壁補強)	プレキャストブロック耐震補強 (検討事例：3Q-WALL)	制震ダンパー工法 (検討事例：VESダンパー)	免震レトロフィット
工法の概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>既存骨組内に耐震壁を新設して主として建物の水平耐力を増大させる補強工法。</li> <li>最も多く使われてきた工法で、施工事例が豊富で、信頼性も高い。また、他の比較工法と異なりどの施工会社でも実施可能である。</li> <li>現場で鉄筋、型枠を組んでコンクリートを打設する。既存躯体との一体化にはあと施工アンカーを用いる。</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>在来工法と同じく水平耐力を増大させる工法。</li> <li>在来工法と異なり、高強度のプレキャストブロックを柱・梁フレーム内に組積する。</li> <li>躯体への取り付け方法は、ガイドスチール方式 (既存周辺骨組みの内側各辺にエポキシ樹脂で接合し、ガイドスチールに沿ってブロックを組積) 及びアンカー打ち方式を躯体状態や施工環境などをみて組み合わせることで機能と施工性の向上を図る。</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>高減衰ゴムを鋼板で挟み込んだダンパーユニットを取付鋼板を使って、上下大梁間に間柱型に設置することで、地震時の振動エネルギーを吸収する工法。ダンパーユニットは、2層の高減衰ゴム(粘弾性体)を鋼板で挟み込んだ形状となっている。</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>免震化する階で柱脚を切断し免震措置を設置し、建物を免震建物に変える工法</li> </ul> 
耐震補強 (I s)	0.6 (0.75以上は困難) ○	0.6 (0.75以上は困難) ○	0.6 (0.75以上は困難) ○	0.6 (0.75以上も可能) ◎
先行工事との蓋然性	必要な工事 ○	必要な工事 ○	必要な工事 ○	先行することで、補強量減少 ○
工期	5~6ヶ月程度 △	3~6ヶ月 ○	3~6ヶ月 ○	10ヶ月程度 ×
工事中の開館状況	原則的に閉館 既存展示物扱い検討必要 ×	閉館が望ましいが、期間は短い 既存展示物扱い検討必要 ○	閉館が望ましい 既存展示物扱い検討必要 △	閉館が望ましい 免震化時に閉館必要 ×
工事中の史蹟影響	外部足場設置が望ましい。設置には史蹟影響に十分注意必要 ×	外部足場未設置で可能だが、搬入方法検討必要 △	外部足場未設置の場合、搬入方法検討必要 × 地下階における梁補強工事に石垣影響 ×	外部足場必要 ×
工事後の展示・活用へ影響	展示スペース減少、転倒恐れ、動線影響など、展示への影響大きい ×	展示スペース減少、転倒恐れ、動線影響など、展示への影響大きい ×	展示スペース減少、転倒恐れ、動線影響など、展示への影響大きい ×	2階以上の階で展示物転倒防止可能 ○
工事後の外観影響	外観変化無い ○	外観変化無い ○	4階に開口閉塞発生 ×	1階の外壁に耐震スリット ×
補強に関する直接工事費 (※注)	約11,780万円 ○	約14,680万円 △	約41,690万円 ×	約4億円 ×
その他	内部耐震スリットに地震時亀裂が発生しやすいので、補修・修理が生じる可能性がある。	内部耐震スリットに地震時亀裂が発生しやすいので、補修・修理が生じる可能性がある。	構造的特徴から制震補強には不向き (破壊特徴) 階段部動線、空間制限により現状では納まらない箇所発生 ダンパー設置のため、梁部の増し打ち必要	
総合評価				

※注: 仮設、屋根及び外壁補修、展示、空調等の費用、諸経費、消費税は含まず

4. 各工法による補強案（目安） ※詳細は、資料「※参考：補強案（各階伏図）」

在来工法 (RC 耐震壁補強)	プレキャストブロック耐震補強	制震ダンパー工法	免震レトロフィット
<p>&lt;軸組図 (2通り)&gt;</p>	<p>&lt;軸組図 (2通り)&gt;</p>	<p>&lt;軸組図 (2通り)&gt;</p>	<p>&lt;模式図&gt;</p>
<p>&lt;1階伏図&gt;</p>	<p>&lt;1階伏図&gt;</p>	<p>&lt;1階伏図&gt;</p> <p>X方向48unit Y方向55unit</p>	<p>※免震に関しては、補強後耐震性の検証を含む詳細な検討ではなく、経験値に基づく資料であり、耐震診断結果から補強箇所を割り出すには、別途詳細な調査及び設計が必要である。</p>

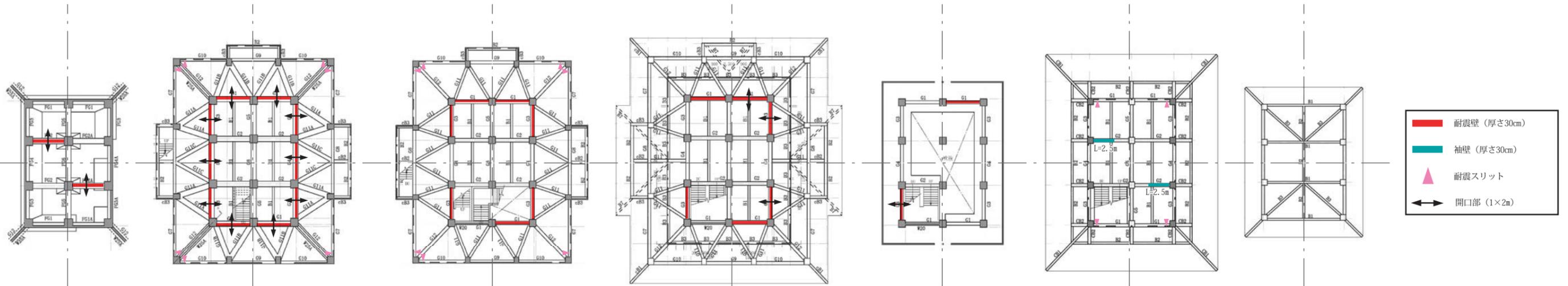
5. 天守閣へ適用の詳細検討

		在来工法	プレキャスト耐震補強	制震ダンパー工法	免震（免震レトロフィット）
天守閣への適用方針		<p>1) 極ぜい性の部材について</p> <p>1,2,4 階で外周の柱が極ぜい性柱となる箇所は、耐震スリット新設により極ぜい性の解消を行う。(4階は開口閉塞による解消も可能)この時、部材耐力の向上を考慮する。</p> <p>2) 補強部材の配置</p> <p>本建物は、1、2 階の外周の壁が片持ち梁による張出しであることから 1~4 階で補強が必要で、補強部材が鉛直方向に連続していることが望ましい。連層で 4 階まで補強部材が配置可能な建物内部の柱-柱間に配置する。また、X 方向において偏心が生じているので、偏心を解消するように耐震壁を設置する。</p>	<p>基本的に在来工法と同じ</p>	<p>1) 極ぜい性の部材について</p> <p>1,2 階の建物外周の極ぜい性柱となる箇所には耐震スリットを設けることで曲げ破壊型とする。</p> <p>2) 炭素繊維巻補強</p> <p>層間変形角 1/250 以下でせん断破壊する柱に対し炭素繊維巻補強を行う。</p> <p>3) B1 階柱のせん断破壊について</p> <p>B1 階において層間変形角 1/250 以下で柱にせん断破壊が生じるが、直交壁が存在することから、せん断破壊を許容する。</p> <p>4) 補強部材の配置</p> <p>X,Y 両方向について地震応答解析を行い、最大応答層間変形角 1/250 を満足するように制震部材の数量の算出を行う。また、その際換算 Is 値は 0.6 を上回ることを確認する。</p>	<p><b>中間層免震+耐震補強</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>地下 1 階柱・1 階柱と 1 階梁・2 階梁を補強。</li> <li>1 階柱の柱脚を切断して免震装置を設置し、建物を免震建物に変える工法（1 階柱脚免震レトロフィット）</li> <li>切断時には仮支持（ジャッキ等）をして上部荷重を支える。</li> <li>地下階及び 1 階は耐震補強による対応が必要。</li> <li>天守・付櫓（入口部）との間に EXP が必要。</li> </ul>
特徴	<p>施工の容易さ及び工事中対応</p>	<p>1) 仮設について</p> <p><b>鉄筋・型枠他の部材の揚重や運搬の為の仮設が必要。</b>また、コンクリート打設のために、ポンプ施工による輸送管の経路を確保する必要がある。 (※外壁改修や瓦の補修には外部足場が必要)</p> <p>2) 騒音・振動等について</p> <p>配筋時にあと施工アンカーを多く躯体に打ち込む必要があるため<b>騒音や振動が長期間発生する。</b></p> <p>3) <u>居ながら施工(閉館の期間や範囲)について</u></p> <p><b>基本的に困難。</b> 耐震スリットの新設を含め、工事中は閉館とする。</p>	<p>1) 仮設について</p> <p>無足場で施工可能だが、エレベーターが無いので、材料の搬入には仮設スロープ等の検討が必要。 現場での鉄筋の加工、型枠の施工、コンクリート打設が無く、プレキャストコンクリートブロックは人力で搬入が可能なので、<b>部材の搬入も比較的容易。</b> プレキャストコンクリートブロックを積上げ後、簡易な設備で高強度グラウトを流し込むだけなので、在来工法に比べて<b>省スペース</b>での施工が可能。 (※外壁改修や瓦の補修には外部足場が必要)</p> <p>2) 騒音・振動等について</p> <p>あと施工アンカーを最小限にして、接着剤で対応することで、<b>施工時の騒音や振動を低減</b>出来る。 耐震スリット設置工事時には、騒音・振動が発生する。</p> <p>3) <u>居ながら施工(閉館の期間や範囲)について</u></p> <p>騒音や振動が少ないので、区画を分けて施工すれば居ながら工事も可能ではあるが、閉館により工期の短縮、工事の効率が向上できる。 耐震スリット設置工事時には、騒音・振動が発生するので、閉館が望ましい。</p>	<p>1) 仮設について</p> <p>無足場で施工可能だが、エレベーターが無いので、材料の搬入には検討が必要。 ユニット化されたダンパーを設置するため、在来工法に比べて<b>省スペース</b>での施工が可能。また、ダンパー等材料は人力で搬入が可能なので、<b>部材の搬入も比較的容易。</b>(プレキャスト工法より搬入量は多い) (※外壁改修や瓦の補修には外部足場が必要)</p> <p>2) 騒音・振動等について</p> <p>あと施工アンカーを躯体に打ち込む必要があるため<b>騒音や振動が発生する。</b> 耐震スリット設置工事時には、騒音・振動が発生する。</p> <p>3) <u>居ながら施工(閉館の期間や範囲)について</u></p> <p>耐震スリット設置、あと施工アンカーの打ち込み工事は、騒音・振動が発生するので、閉館が望ましい。</p>	<p>1) 仮設について</p> <p>免震の水平耐震スリット部の外壁面の工事には<b>足場が必要。</b> 大部分の工事は1階で行うことから、揚重や運搬の為の仮設は大幅に低減出来る。 (※外壁改修や瓦の補修には外部足場が必要)</p> <p>2) 騒音・振動等について</p> <p>免震装置設置場所の柱や壁の切断の期間は<b>騒音や振動が発生する。</b></p> <p>3) <u>居ながら施工(閉館の期間や範囲)について</u></p> <p>大部分の工事は1階で行うことから、2~4階を開館しながら施工も不可能ではないが、その際は足場、確認中見学者の 2 階以上へのアプローチ計画が必要となる。  免震化工事の際には措置騒音や振動が発生するため、閉館が望ましい(約 1 か月) 耐震スリット設置工事時には、騒音・振動が発生するので、閉館が望ましい。</p>

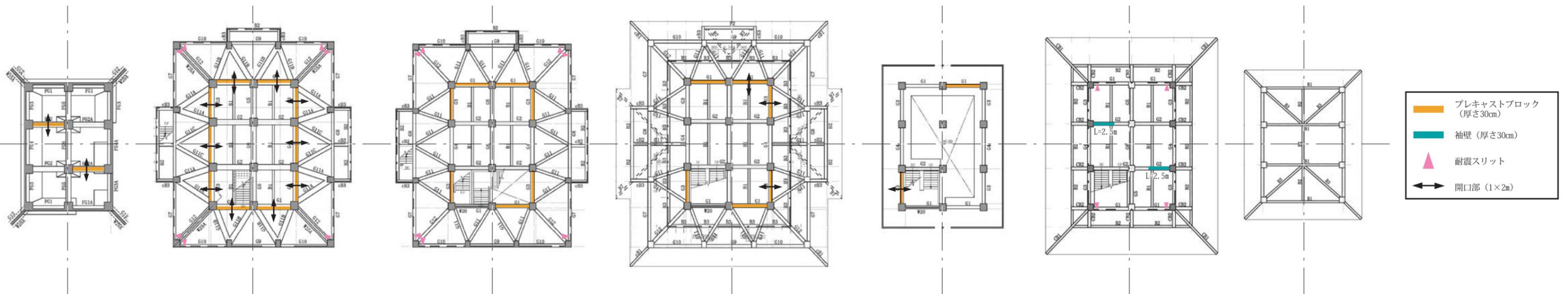
工期	5～6ヶ月程度	3～6ヶ月 在来工法と同等の期間を基本とするが、プレキャスト部材を使用する半乾式工法のため在来工法より工期短縮が可能。また全館閉鎖によりさらに工事短縮が可能。	3～6ヶ月 全館閉鎖により工事短縮が可能。	10ヶ月程度
メンテナ ンス	1) 基本的にはメンテナンスフリー 2) 1、2、4階の外壁内部側に設置する耐震スリットは、地震で建物が挙動した場合には、耐震スリット部分にひび割れが生じる恐れがあり、補修が必要になる可能性がある。	1)、2) 同左	1) 同左 (ダンパーは、耐久性と疲労特性に優れ、長期的に安定した性能を発揮するため基本的にはメンテナンスフリーであるが点検は必要) 2) 同左(耐震スリット:1, 2階)	1) 同左 2) 同左(耐震スリット:1, 2階)
外観へ の影響 (文化財)	1) 1、2、4階の外壁の耐震スリットは内部側に設置するので、外観への影響は無いが、亀裂発生時は意匠復元が必要	1) 同左	1) 同左 2) 4階のダンパーによる開口閉塞は、意匠的に処理する必要はある。	1) 外観に耐震スリットが出るため、外観イメージが変わる可能性が高い
補強後 内部 空間へ の影響 (展示)	1) 耐震壁が、各階・各所に多数設置されることから、空間の細分化、見学導線の変更、展示物・ケースの縮小が必須。 2) 壁の新設部分のスペースが小さくなる。開口寸法は幅1m×高さ2m程度である。	1)、2) 同左	1) ダンパー設置により、各階・各所に多数設置されることから、空間の細分化、見学導線の変更、展示物・ケースの縮小が必須。なお、現状の階段動線や梁柱など部材規模から、現状では収まらない箇所が発生 (ダンパーユニットを分散配置した場合、補強構面数は増大)	1) 免震装置を設置する階(1階)の階高が低くなるため、展示スペースには適さないと考えられる。 2) 2階以上の階では、従来通りの展示が実現出来る可能性が高い。 3) 地震時の揺れが小さくなるため、展示物の転倒を避けることが可能。
経済性	・耐震補強自体の工事費は他工法と比較して安い。 ※補強部分の内装の撤去復旧、展示ケースの撤去・新設費用が補強工事以外に必要。	・工事費が在来増設壁と比べて割高。 ※補強部分の内装の撤去復旧、展示ケースの撤去・新設費用が補強工事以外に必要。	・コストが高く、構造的面でも現状の天守閣には <b>不向き</b> ※補強部分の内装の撤去復旧、展示ケースの撤去・新設費用が補強工事以外に必要。	コストが高いが、展示への影響は最も小さい。 ※内装の撤去復旧、展示ケースの撤去・新設費用が他の工法と比較して小さいが、1階の用途変更に係わる費用が必要。
その他			・既存建物の靱性能が低い場合、効率的な補強とならない可能性がある(制震ダンパーが聞く前に破壊の可能性) ・階段部動線、空間制限により現状では納まらない箇所発生 ・ダンパー設置のため、梁部の増し打ち必要	
工事 費用	合計 11,780 万円  耐震スリット 18 箇所× 10 万円＝ 180 万円 RC 耐震壁 29 箇所× 400 万円＝11,600 万円  ※仮設、屋根及び外壁補修、展示、空調等の費用、諸経費、消費税は含まず	合計 14,680 万円  耐震スリット 18 箇所× 10 万円＝ 180 万円 3Q-Wall29 箇所× 500 万円＝ 14,500 万円  ※仮設、屋根及び外壁補修、展示、空調等の費用、諸経費、消費税は含まず	合計 41,690 万円  2 ユニットタイプ 2 構面× 220 万円＝ 440 万円 3 ユニットタイプ 1 構面× 290 万円＝ 290 万円 4 ユニットタイプ 18 構面× 360 万円＝ 6,480 万円 6 ユニットタイプ 2 構面× 500 万円＝ 1,000 万円 8 ユニットタイプ 41 構面× 640 万円＝26,240 万円 10 ユニットタイプ 2 構面× 780 万円＝ 1,560 万円 炭素繊維巻補強 11 箇所× 80 万円＝ 880 万円 梁補強 85 箇所× 50 万円＝ 4,250 万円 耐震スリット 55 箇所× 10 万円＝ 550 万円  ※仮設、屋根及び外壁補修、展示、空調等の費用、諸経費、消費税は含まず	合計 4 億円程度 ※耐震補強費用含む工事費  ※仮設、屋根及び外壁補修、展示、空調等の費用、諸経費、消費税は含まず
適用例	岡崎城天守閣 大坂城天守閣(※再アルカリ化と併用)			千葉市立郷土博物館(千葉城天守閣) ※【参考資料】千葉市立郷土博物館関連資料

※参考：補強案（各階伏図）

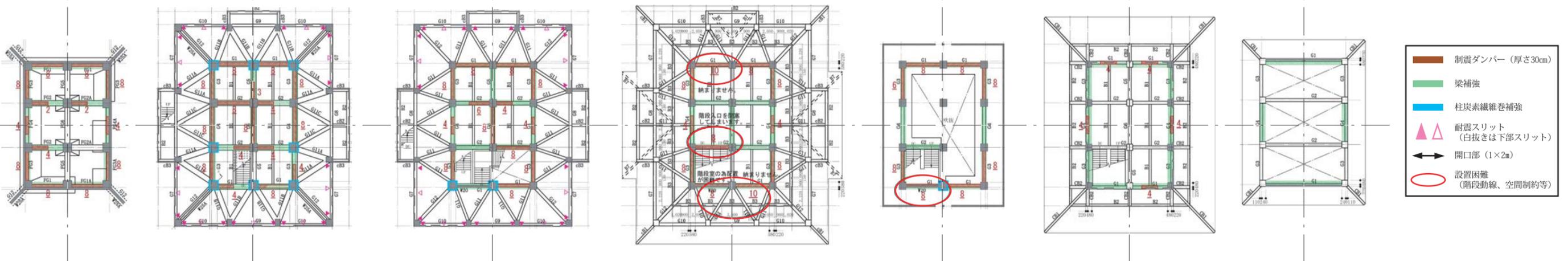
在来工法（RC蔵耐震壁補強）



プレキャスト耐震補強（3Q-WALL工法）



制震ダンパー工法（VESダンパー）



地下1階

1階

2階

3階

中4階

4階

屋上階