

住宅医スクール2024 特別講義(第1回)
被災木造住宅の耐震補強～補強のポイントと低コスト工法の取組

①耐震補強の考え方、各部位の補強方法、 補強事例について

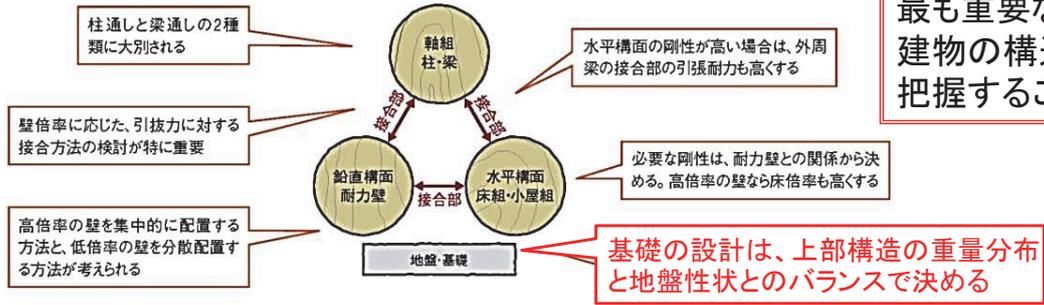
山辺 豊彦
山辺構造設計事務所

建物の補強計画と各部の補強要領

改修 P.008、009

1-1 木構造の特徴 木造の構造要素と役割

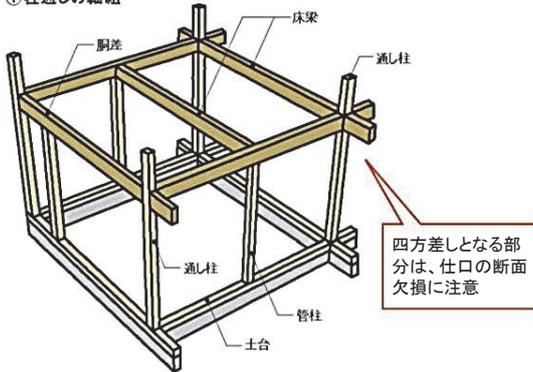
図2 木造の基本構成



診断・調査で最も重要なことは、建物の構造的特徴を把握することである

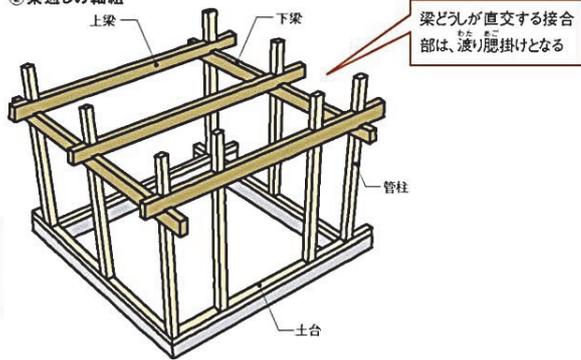
図3 柱通しと梁通しにおける軸組の注意点

① 柱通しの軸組



通し柱を約3～4mグリッドに配置し、そのほかは管柱とする軸組。床梁レベルがそろうため、水平剛性は高めやすいが、仕口の断面欠損に注意が必要

② 梁通しの軸組



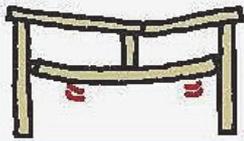
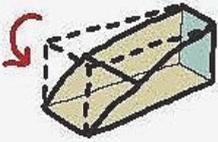
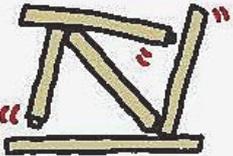
柱はすべて管柱。柱が多く存在する構面に下梁を流し、その上に直交梁を載せる軸組。梁に段差があるため水平剛性は低いが、仕口の断面欠損は少ないので、鉛直荷重の支持能力は安定している

山辺構造設計事務所

改修 P.112

01 補強計画 補強計画の考え方

表1 補強の優先順位

補強の目的	優先すべき補強部位
鉛直荷重を支える 	スパンの長い梁 負担荷重の大きい梁
ねじれを防ぐ 	壁長さの少ない南面・道路面など 1階と2階の壁線がずれる範囲 耐力壁線が長くなる範囲
接合部の 抜出し防止 	負担荷重の大きい梁の端部 外周梁(建物全体の枠梁) 主構面 高倍率の耐力壁の端部柱
壁量の確保 	2階が載る範囲の1階部分 寝室、キッチン・リビングなど長時間人が居る部屋

山辺構造設計事務所

伝統的な木造建築物の特徴



構造的に見た問題点

- 1) 耐震要素が少ない
水平力に対して抵抗する「耐力壁」が少ない
- 2) 水平構面の剛性不足
耐力壁と水平構面の連続性がない
- 3) 接合部の引張耐力不足
- 4) 仕口の断面欠損が大きい
- 5) 基礎の一体性がない

軸組の連続性、耐力壁・水平構面の連続性を確保！

山辺構造設計事務所

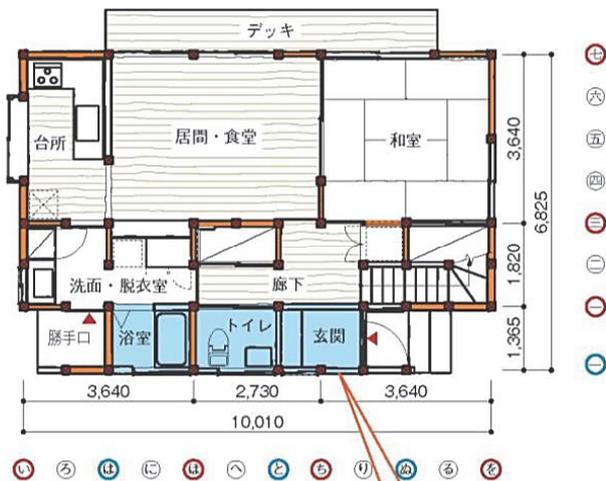
5

改修 P.026

02 架構計画 主構面と補助構面

図1 主構面と補助構面の配置のしかた

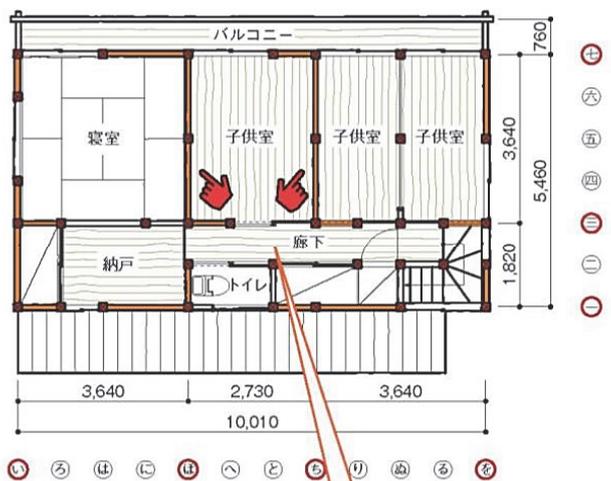
● 1階平面図



- : 主構面
- : 補助構面
- : 耐力壁

1階の①'列の下屋部分の外壁を壁量として考える場合、2階耐力壁から下屋部分の外壁に力をスムーズに流すため、下屋の屋根か天井面は剛性を高める

● 2階平面図



2階は、壁量が外周壁のみで足りる場合でも、屋根面の水平剛性不足から壁量を増やす場合がある。水平力に対して建物の中央部分が大きく変形しそうな場合には、建物の中央付近に耐力壁を配置する

基礎梁の配置計画と対応させる

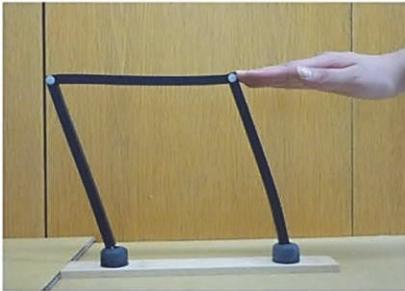
山辺構造設計事務所

6

耐力壁の特徴

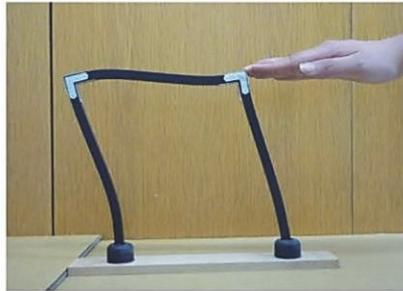
写真 軸組の種類と変形

①ピン接合の軸組



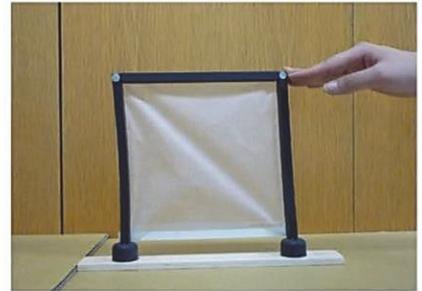
柱、梁ともに直線のまま変形している

②剛接合のラーメンフレーム



柱、梁ともにS字形に変形している。ピン接合より水平抵抗力は高いが、全体としての変形は大きい

③面材壁の軸組



対角線に生じるしわが、ひび割れや釘の浮きの原因となる。全体の変形量は①②よりも格段に小さい

④上部が開口となっている



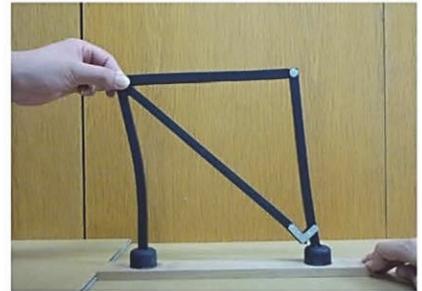
壁で拘束されていない部分の柱が大きく曲げ変形している(天井や床下に壁がないと、抵抗力が小さい)

⑤圧縮筋かい



筋かいの座屈を間柱などで防止することが、耐力を発揮させるポイント

⑥引張筋かい



接合部の抜出しを防ぐことがポイントになる

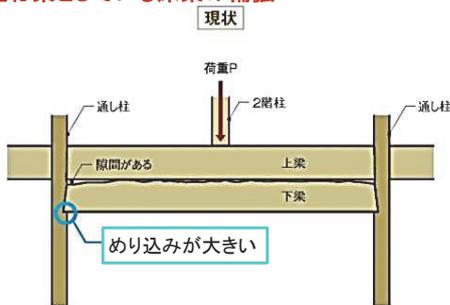
山辺構造設計事務所

軸組の補強

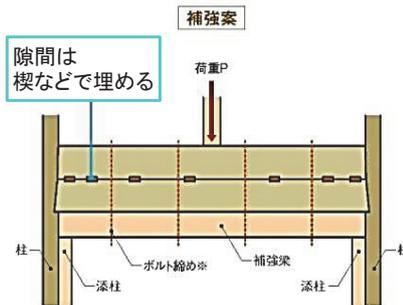
図3 枕梁と添柱による2階床梁の補強例

重ね梁による補強がなされていたが、仕口が過大にめり込んで問題が生じていた事例である。この床梁にかかる荷重を算出し、一体ではない重ね材としてたわみや強度を検討するほかに、仕口のめり込みの検討も行い、添え柱を設けて支持力を確保した。**【ポイント】無垢材のごとく“一体”にはならないものの、重ね材が“同一変形”する必要はあるため、ボルト等で上下材を接合する。**

①重ね梁としている床梁の補強



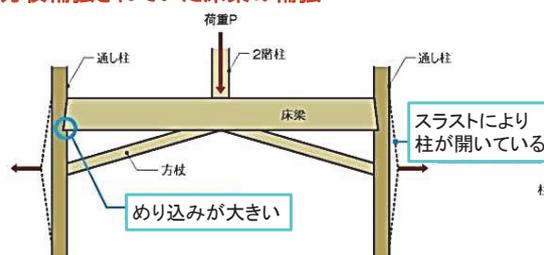
単に重ねただけで上梁と下梁の一体性がないため、たわみが大きくなり、下梁の仕口に問題が生じている



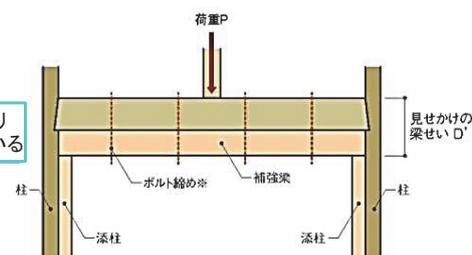
3本の梁が同一変形となるように材の隙間は楔などで埋めてボルトでつなぐ

※ボルトでつなぐ程度では重ね材は一体にならないので、たわみや強度を検討するときは、既存梁と枕梁をそれぞれ単材として算出した断面性能を加算すること

②方杖補強されていた床梁の補強



柱の断面が小さいと、方杖によって押されて軸組全体のゆがみが増長する



枕梁を入れ、端部は添柱を枕梁の下に設けて仕口の支持力を確保する

山辺構造設計事務所

重ね梁の断面性能

図1 単材と重ね梁の断面係数と断面2次モーメント

①単材

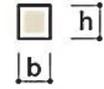


②重ね梁



単材を重ねるだけでは
重ね合わせた面がずれてしまう
||
たわみが大きくなる

	A	B	C	D	E
断面形					
曲げ強度の比率 (断面係数)	1	4	2	9	3
曲げ剛性の比率 (断面2次モーメント)	1	8	2	27	3



断面係数 $Z = \frac{1}{6} bh^2$

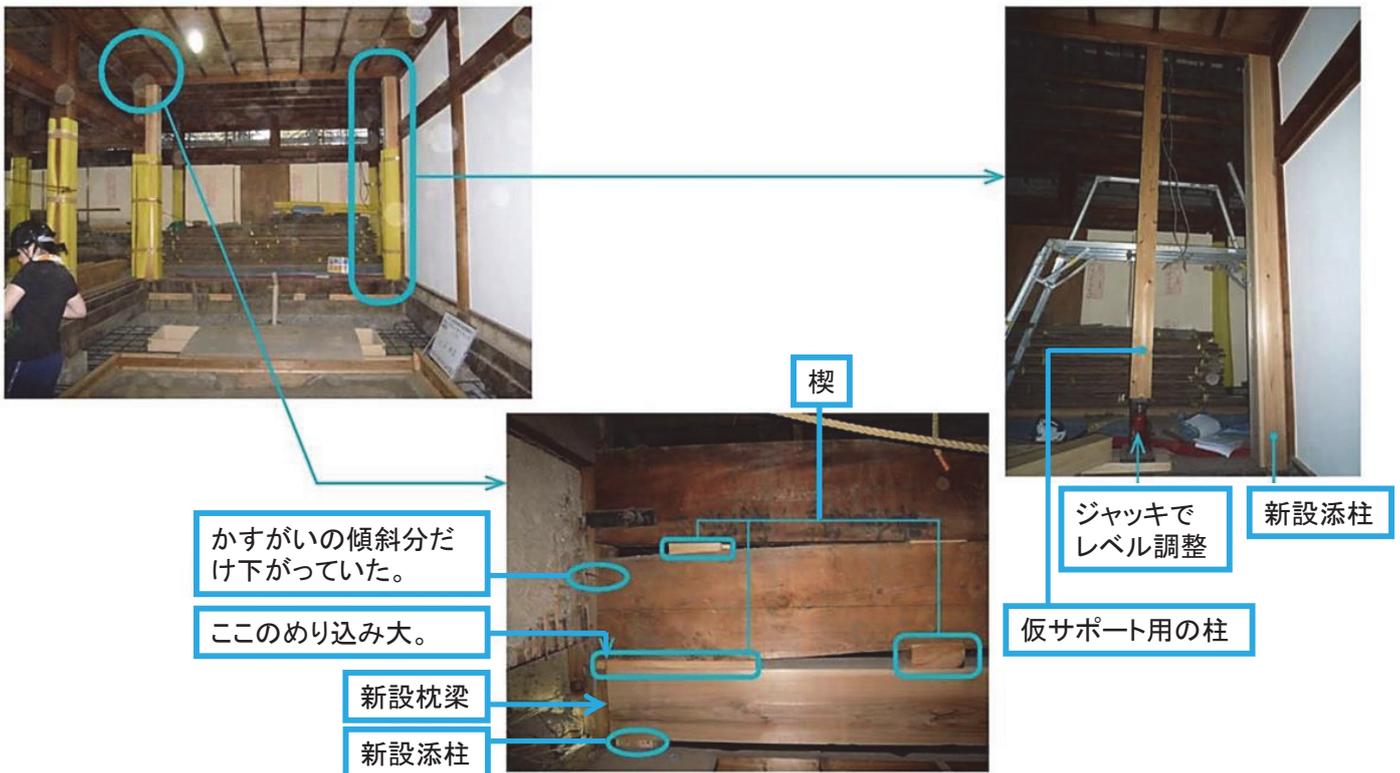
断面2次モーメント $I = \frac{1}{12} bh^3$

改修工事を行う際、既存の梁に新しい梁を重ねる「重ね梁」で補強することが多い。しかし、ただ梁を重ねただけのものを、既存と新設を合わせた梁成の無垢材と同等にとらえてしまい、トラブルを起こしている例がよく見受けられるため注意したい。重ねただけの梁に力がかかると、図②のようにずれが生じる。これは構造的に見ると、横に並べただけの効果しかないことになる[表C]。ずれがまったく生じないようにすれば、表Bのように2倍の梁せいをもった無垢材と同等の構造性能となる。表Cに対する表Bの強度性能の比率は2倍、変形に対する性能は4倍で、その差は大きい

山辺構造設計事務所

枕梁による補強例

図4 添柱と枕梁による補強例

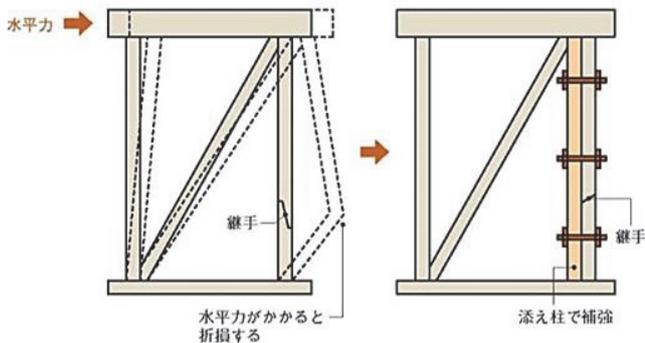


山辺構造設計事務所

耐力壁の補強

図1 柱に根継がある場合の補強

① 筋かいが取付く場合



② 面材が取付く場合

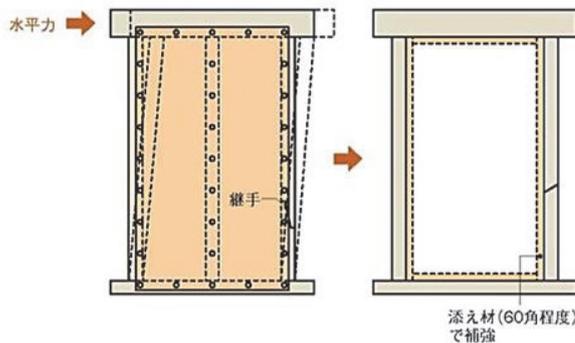
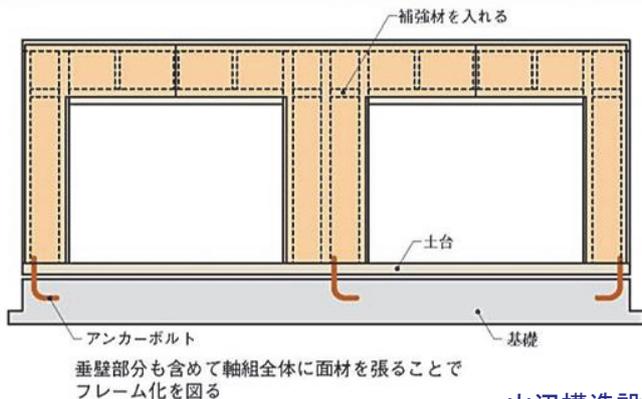


図2 アンカーボルトがまばらな場合のフレーム補強



山辺構造設計事務所

05 耐力壁の補強 筋かいの補強

図3 筋かいの補強

筋かい端部の接合

・建告1460号の規定を満足するように補強する

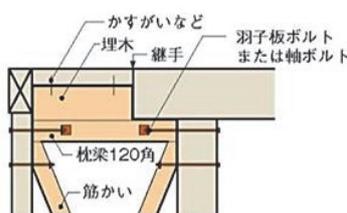
筋かい交差部の接合

・90角未満の筋かいは欠込みを行わない(相次ぎ禁止)
 ・90角以上でどちらか一方と分断する場合は、下図要領にて補強する

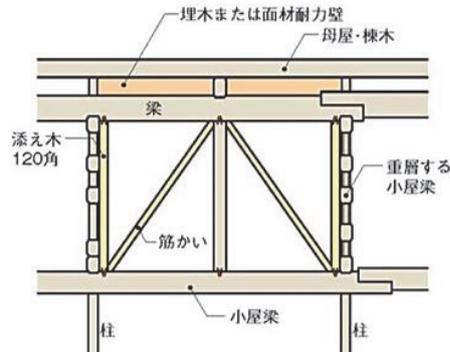
筋かいが取付く軸組

・筋かい耐力壁内に継手を設ける場合は、枕柱あるいは添え柱を設けて継手部分が回転しないように補強する
 *小屋裏など直交梁が積層している場合も同様に補強を行う
 ・筋かい耐力壁は、間柱や貫などの座屈防止材を450mm間隔に設ける

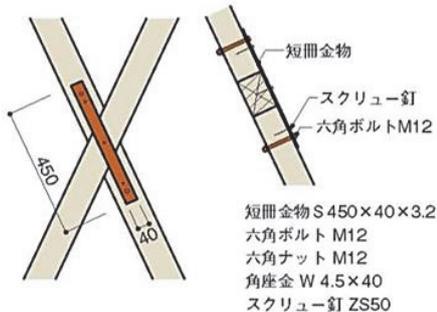
継手部の補強要領



小屋裏などの補強要領



一方が分断する場合の納まり例

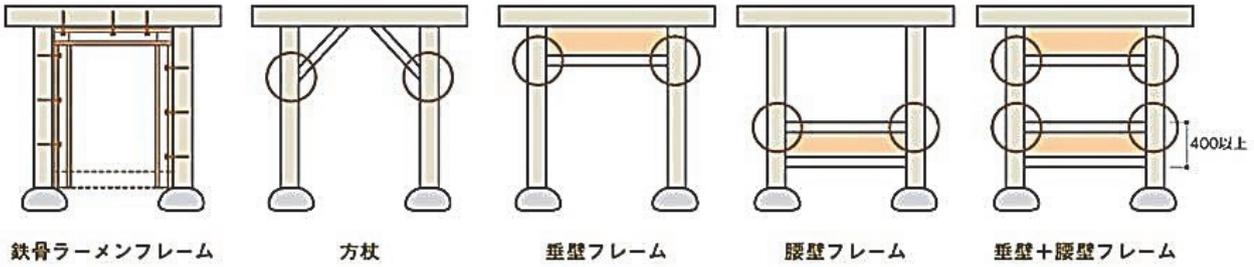


・1階の耐力壁は土台から2階床面まで、2階耐力壁は2階床梁から屋根面まで連続するように設ける。
 小屋裏や2重梁などで隙間が生じる場合は、小屋筋かい、埋木、面材などを設けて、水平力が耐力壁に伝達されるように補強する(右上図参照)

山辺構造設計事務所

門型架構の補強

図5 フレームタイプの補強方法



門型よりも口の字型のほうがよい
取付方法を考えると、
既存柱は120角以上必要

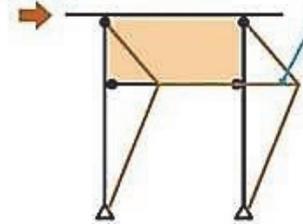
目安：4m角程度の東屋で、
柱は180角程度必要

壁の強度を高くすると、柱に生じる曲げやせん断力が大きくなり、折れることがある。柱の太さと壁の強さのバランスを考える必要がある

一般に柱は**150角以上**となる。ただし、これのみで建物全体の水平力を負担するのはかなり難しいので、実際には耐力壁も必要になることが多い。

上図の○部分は曲げモーメントが生じるため、
仕口の欠損に注意が必要

水平力Q



柱に生じる
曲げモーメント

壁の強度が高いと
負担できる水平力が大きい
→ 柱に生じる曲げが大きくなる
→ 仕口部分が折れる可能性：大



写真2 腰壁フレームタイプの補強例。床下に筋かいを設けている。仕口の欠損を考慮しても強度に問題がないことを確認している

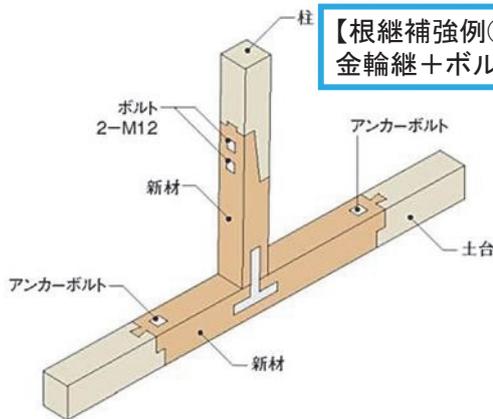
山辺構造設計事務所

07 接合部の補強 根継

図1 柱の根継

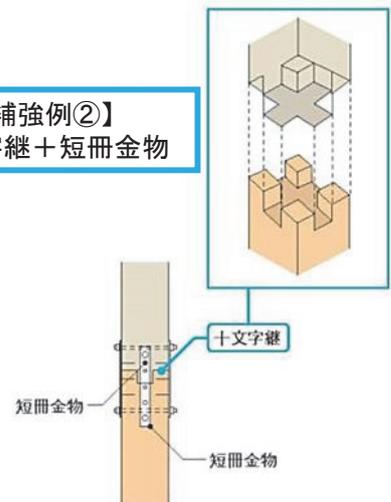
- ・柱の根継は金輪継ぎを原則とする
- ・十文字継ぎとする場合は、短冊金物を4面に取付ける
- ・筋かいが取付柱に継手を設ける場合は、添え柱による補強を行う

●土台の取替えと柱の根継



【根継補強例①】
金輪継+ボルト

【根継補強例②】
十文字継+短冊金物

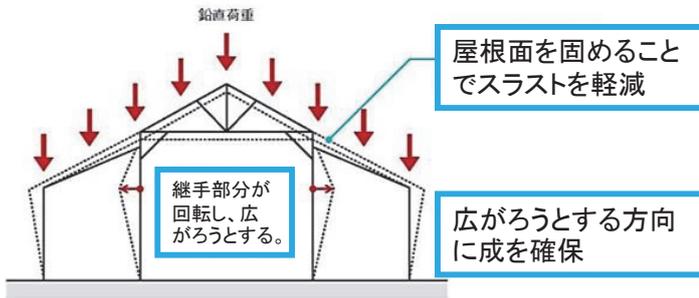


改修 P.130

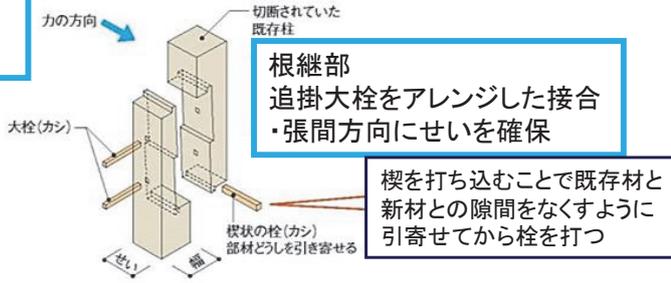
07 接合部の補強 根継

図2 柱の根継のポイント

柱の根継は、既存材と新材を隙間なく継ぐのが施工的に難しいため、楔で引寄せられる金輪形式が多い。継手の方向は架構が広がろうとする方向に“せい”を確保するようにするとよい(下図)。とはいえ、継手の曲げ耐力は低いので、風圧力を受ける外壁面や、方杖が取り付くようなラーメン架構の柱は、根継せずに取り換えるか、添え柱で補強する。
また床下で軒並み根継を行うときは、不安定架構となるのを防ぐため、床下に耐力壁を適宜設けて、水平力に抵抗できるよう配慮する(114～117頁参照)



【根継補強例③】
追掛大栓継+楔



山辺構造設計事務所

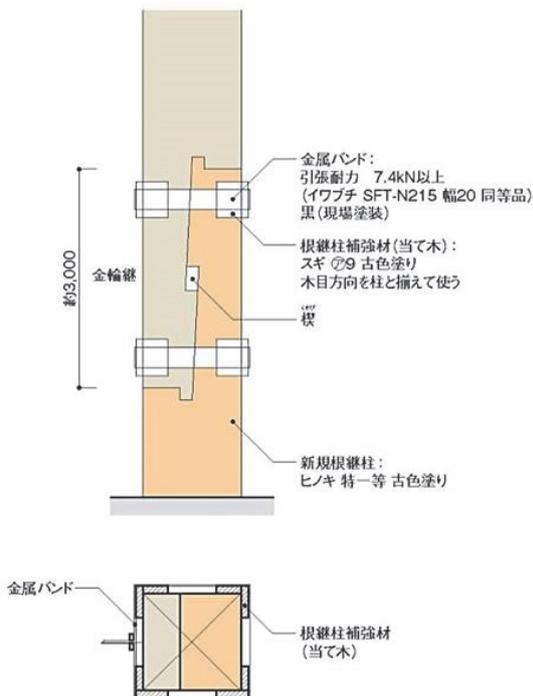
15

改修 P.131

07 接合部の補強 根継

●根継ぎ補強例 金輪継ぎ+金属バンド巻き

耐力壁が取り付く柱や風圧力を受ける柱で添え柱を設けられない場合は、継手の回転を抑えるため、バンドを巻く方法もある。



金輪継ぎによる根継ぎ



既存柱を傷めないようにするため根継部分に当て木をして、金属バンドを巻いている

山辺構造設計事務所

16

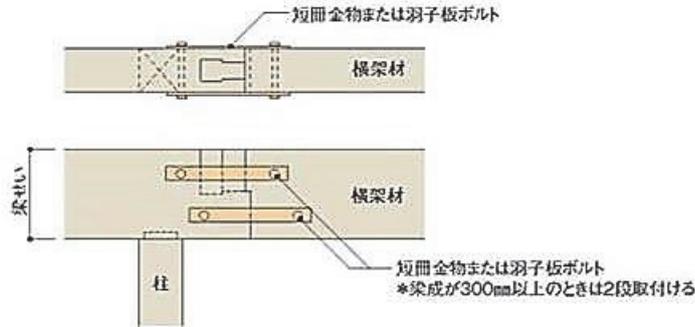
07 接合部の補強 継手

図3 継手の補強

水平構面の外周部、吹抜け、および耐力壁が存在する構面において、継手形状が追掛大柱継ぎあるいは金輪継ぎ以外の場合は、短冊金物または羽子板ボルトを併用する。また筋かい耐力壁内に継手を設ける場合は、枕梁あるいは添え柱を設けて、継手部分が回転しないように補強する(75頁図2参照)

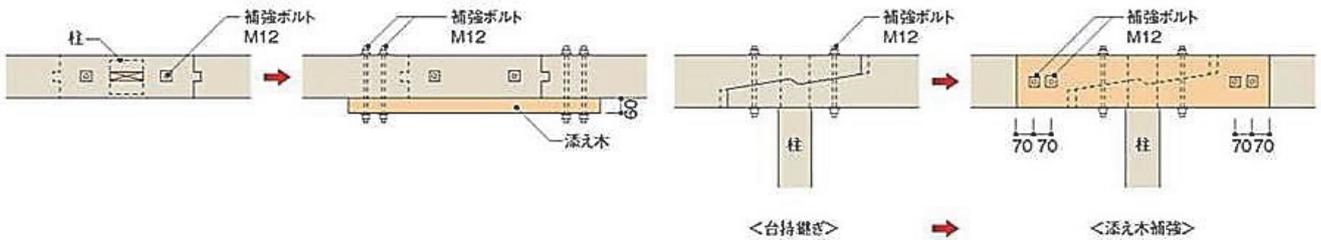
●継手の金物補強要領

①梁側面に取り付ける場合、梁成が300mm以上のときは2段使いとする。



水平荷重時に引張力の作用する外周桁梁の継手を添え木補強した例

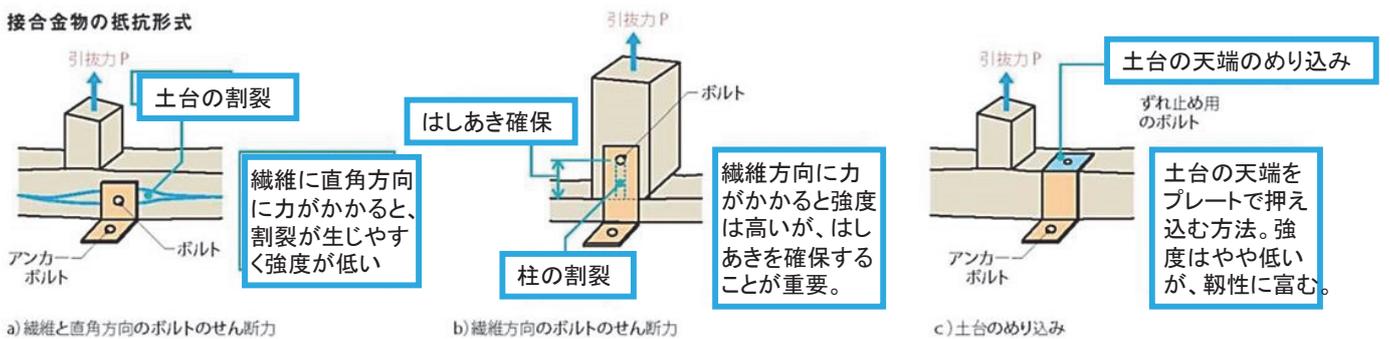
② 台持継ぎの場合は、上下材をボルトにて接合するほか、水平構面の外周梁に該当する構面内においては、側面を添え木にて補強する



山辺構造設計事務所

08 柱脚と基礎の接合 接合部の抵抗形式

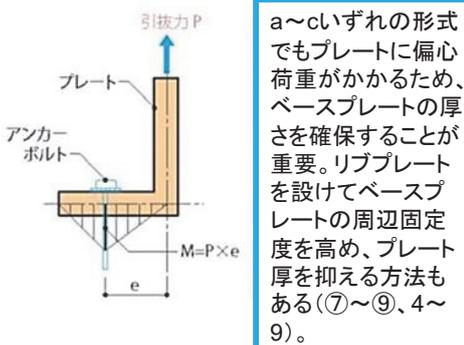
接合金物の抵抗形式



a) 繊維と直角方向のボルトのせん断力

b) 繊維方向のボルトのせん断力

c) 土台のめり込み



柱と新設基礎との接合例(④のタイプ) 新設RC基礎 土台と新設基礎との接合例(⑧と⑨) 新設RC基礎

改修 P.116

03 基礎の補強 コンクリート基礎、煉瓦・石積基礎

図 基礎の補強

①鉄筋コンクリート基礎の補強

RC造の場合は、鉄筋の錆の発生を抑制することが耐久性に影響するため、ひび割れ補修を行うことが重要。中性化が進行して鉄筋まで到達している場合は、アルカリ付与などの対策が必要になることもある。

また耐力壁の増設や柱の移動に応じて、基礎梁を増設することもある。既存基礎との接合は、一般にケミカルアンカーを用いる

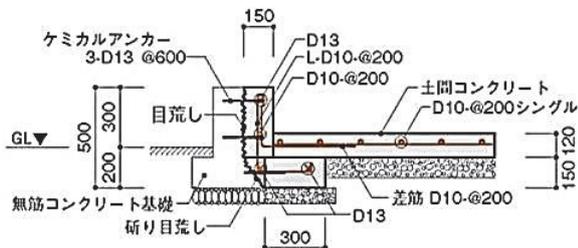
- ・ジャンク打継ぎ不良箇所は、脆弱部分を削り、コンクリートを打設する
- ・0.3mm以上のひび割れは、エポキシ樹脂注入などの補修を行う
- ・鉄筋の露出部分は防錆処理を行う

②無筋コンクリート基礎の補強

ひび割れが無く建物重量が増えなければ、常時荷重に対しては特に問題ないが、耐力壁の増設に伴い引抜力が生じる箇所については、RC基礎を連続的に抱かせて、引抜力を処理する必要がある。また地震時の基礎の一体性を確保するために、内部あるいは外周にスラブを設けたほうがよいこともある

- ・無筋コンクリート造の基礎を新設し、基礎の一体化を図る
- ・0.3mm以上のひび割れは補修を行う

無筋コンクリート基礎の補強例

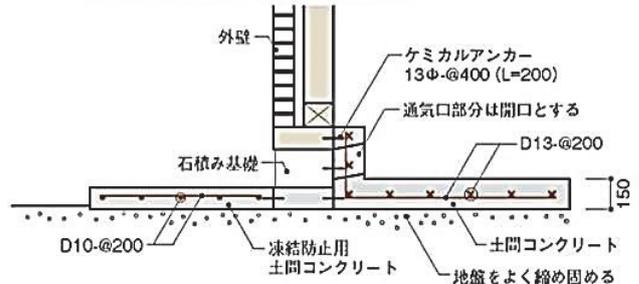


③煉瓦および石積み基礎の補強

組積造は地震時にバラバラに崩れやすいため、RC造の基礎を抱かせて崩壊を防ぐ。引抜力はRC部分で処理するように接合方法を考える必要がある。また、寒冷地では基礎下の凍結を防ぐため、外構部分で断熱処理を行うなどの配慮が必要である

- ・鉄筋コンクリート造の基礎を新設し、基礎の一体化を図る

煉瓦および石積み基礎の補強例



改修 P.116

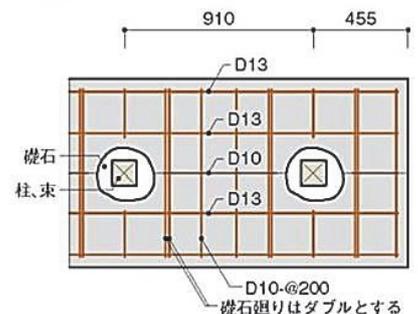
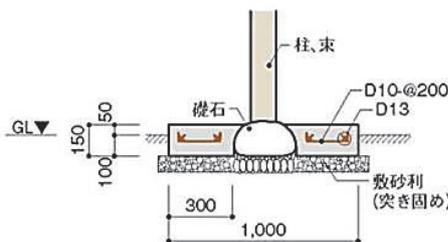
03 基礎の補強 玉石基礎

④玉石基礎の補強

礎石は地震時に移動しやすいため、土間コンクリートを廻して拘束する。なお、引抜力が10kN以上となるような場合は、RC造の基礎梁を新設する

- ・主構面および耐力壁の直下となる部分は、礎石の水平移動を拘束するため、土間コンクリートを設ける
- ・土間コンクリートの幅および長さは、図面あるいは指示書による

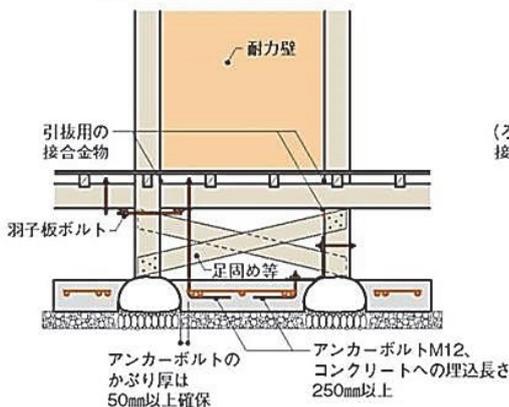
土間コンクリートの設置要領 (引抜が生じない場合)



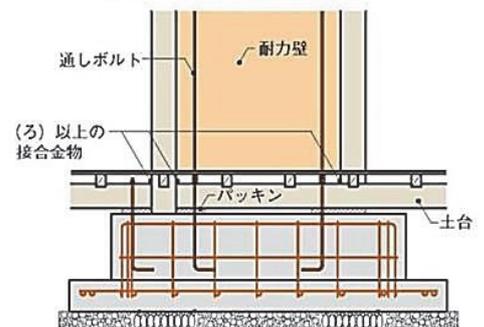
- ・耐力壁を設けた軸組の床下部分は、上部の有効壁長と同等以上となるように、筋かいまたは面材壁を設ける

- ・引抜力が10kN以上(柱脚の接合仕様が平12建告第160号の「へ」以上)となる場合は、鉄筋コンクリートの立上りを設ける

引抜力10kN未満の接合例



引抜力10kN以上の接合例



揚屋・曳家と建物の歪矯正について

山辺構造設計事務所

21

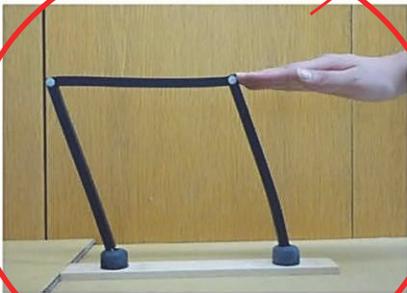
改修 P.082、083

耐力壁の特徴

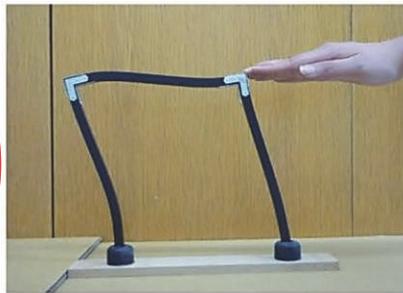
耐力要素(壁、筋かい)を撤去して、フレームだけの状態にしないと、歪みを直すのは難しい。

写真 軸組の種類と変形

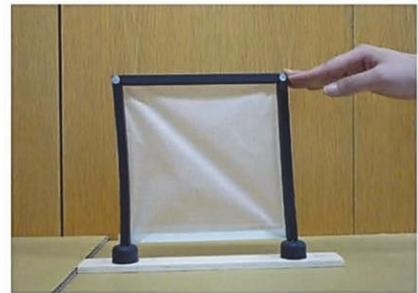
①ピン接合の軸組



柱、梁ともに直線のまま変形している



柱、梁ともにS字形に変形している。ピン接合より水平抵抗力は高いが、全体としての変形は大きい



対角線に生じるしわが、ひび割れや釘の浮きの原因となる。全体の変形量は①②よりも格段に小さい

④上部が開口となっている



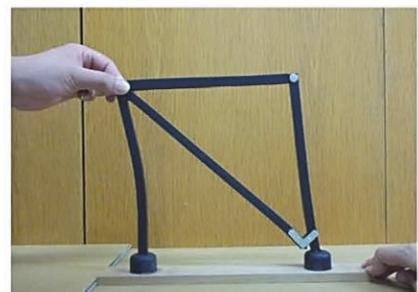
壁で拘束されていない部分の柱が大きく曲げ変形している(天井や床下に壁がないと、抵抗力が小さい)

⑤圧縮筋かい



筋かいの座屈を間柱などで防止することが、耐力を発揮させるポイント

⑥引張筋かい



接合部の抜出しを防ぐことがポイントになる

山辺構造設計事務所

22

揚屋事例3

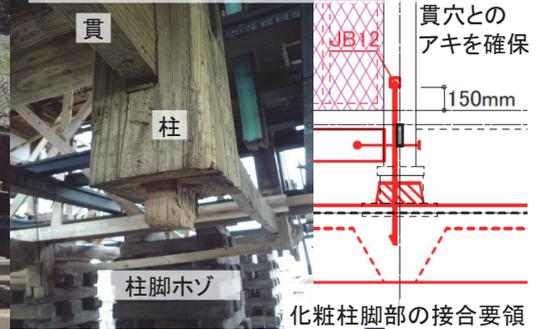
RC基礎の新設と総揚屋 一原位置で垂直揚屋一

揚屋の準備段階の全景



基礎配筋の状況

コンクリート打設および柱脚のボルト穴加工の施工性を考慮して、揚屋高さを1.5mとした



RC造ベタ基礎を新設するため、1.5m総揚屋を行った

土壁を撤去し揚重を軽減し、主構面は仮筋かいにて補強。柱両側面をレールで挟み、ジャッキアップしながら枕木を組む。

千葉県酒々井町 飯沼本家主屋

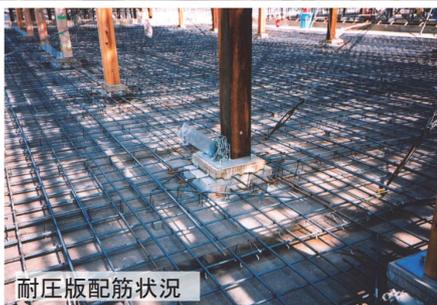
山辺構造設計事務所

揚屋事例4

RC基礎の新設と揚屋 一原位置で垂直揚屋一



各柱ごとに
胴差を持ち上げる



耐圧版配筋状況



柱の下はプレコンを設置し、根継および柱脚金物を取付けてジャッキダウン

屋根外壁とも劣化が激しかったため上屋軸組のみ残して揚屋を行った。補強前は不安定構造となるためチェーンブレースを設置。※既存土間コンで反力を取る。

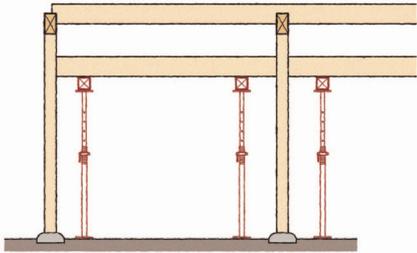
群馬県館林市 正田醤油本社屋

山辺構造設計事務所

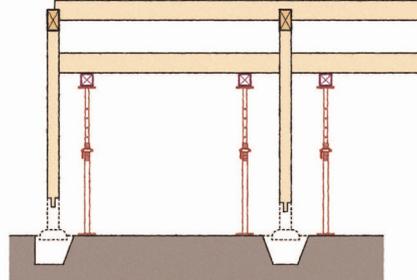
揚屋事例5

揚屋せずにRC基礎を新設 ー鋼製束ー

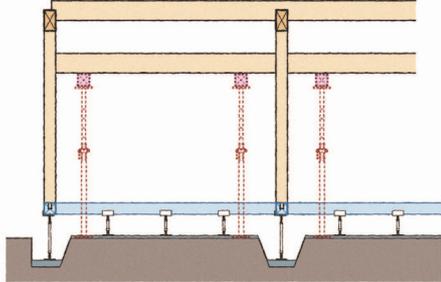
① 仮受け材を設置



② 柱脚加工と根伐



③ 土台と鋼製束を設置

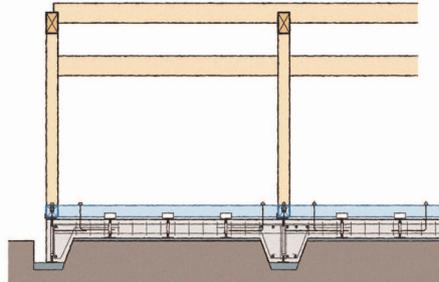


埼玉県所沢市 北秋津のいえ



壁を撤去して
フレームだけの状
態にし、仮筋かい
を入れながら歪み
を(ある程度)直す

④ 配筋、アンカーボルト設置



山辺構造設計事務所



基礎パッキン

土台

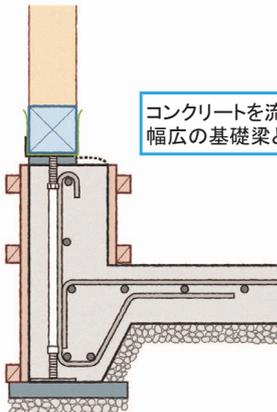
アンカーボルト

鉄筋

鋼製束

27

コンクリート打設



コンクリートを流し込むため、
幅広の基礎梁とする



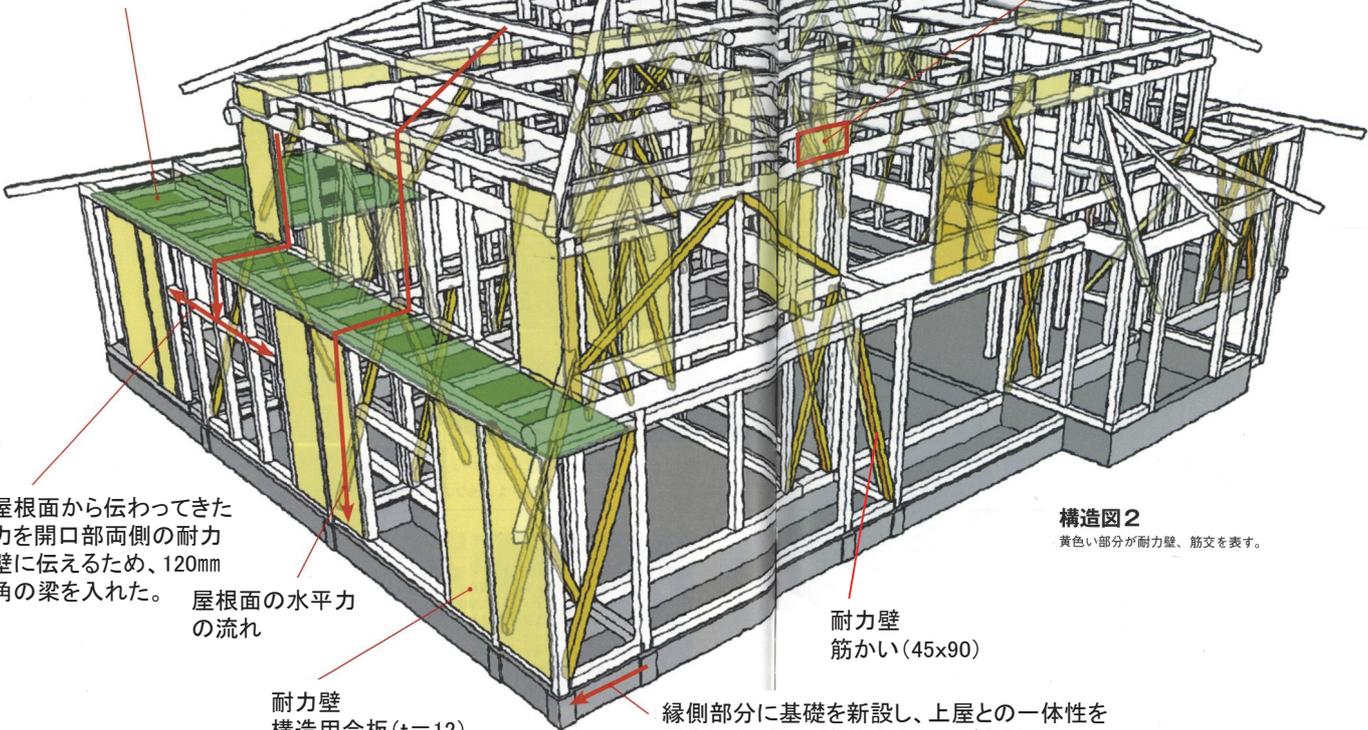
乾燥後の沈下を予測しながら
レベル調整を行う。



養生テープはコンクリートが乾燥してから剥がす

構造補強概要

■ 部分は梁の下端から24mm厚の構造用合板を張り上げ四周釘打ち。
旧家主要構造の上に載る大屋根の水平力を1スパン外側の縁側外壁耐力壁に伝えるため、1階天井面を補強した。



梁と母屋の隙間は埋木または面材耐力壁にて補強。

屋根面から伝わってきた力を開口部両側の耐力壁に伝えるため、120mm角の梁を入れた。屋根面の水平力の流れ

耐力壁
構造用合板(t=12)

耐力壁
筋かい(45x90)

縁側部分に基礎を新設し、上屋との一体性を図るほか、耐力壁端部柱に生ずる引抜力と、水平力に抵抗させる。

構造図2
黄色い部分が耐力壁、筋交を表す。

チルチンびと別冊67『民家の再生と創造④』
イラスト: TRONOFFICE 鈴木聡 氏

山辺構造設計事務所

東西方向の軸組補強要領

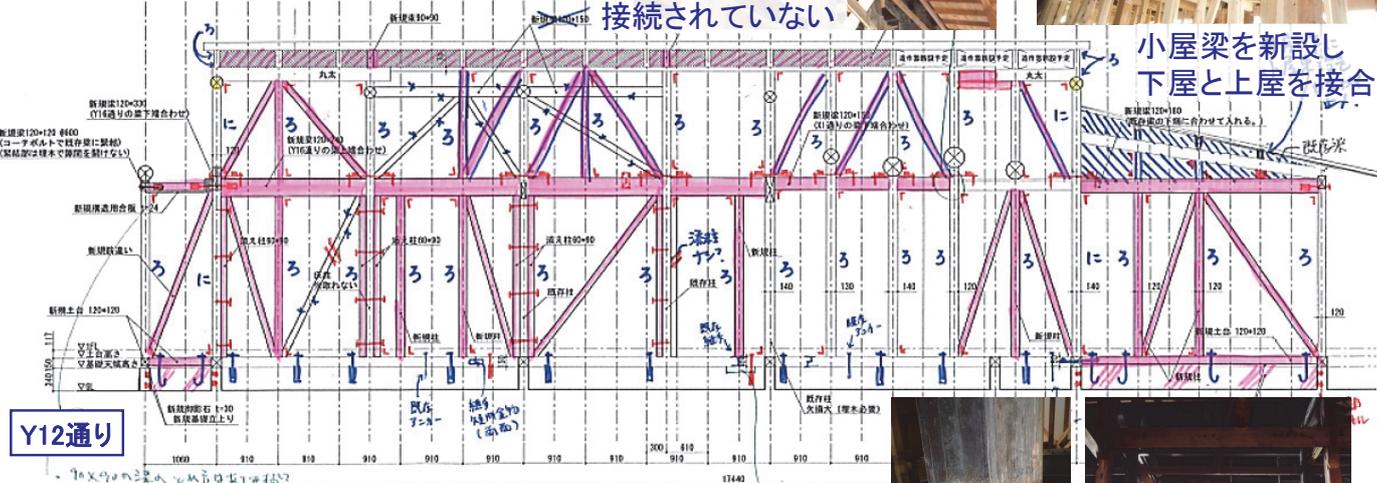
事前の歪み矯正せず、仮筋は設置。
既存RC基礎のため揚屋も無し。
枕梁+添え柱と筋かい(壁)の補強が進むのに従い、歪みも無くなった。



下屋と上屋が
接続されていない



小屋梁を新設し
下屋と上屋を接合



- ・床レベルを既存より下げる
→ 柱の断面欠損補強として添え柱を設置し、筋かいを取付
- ・耐力壁の小屋裏は小屋筋かい・小屋裏壁を設ける
- ・下屋との接続部分は引きボルト補強

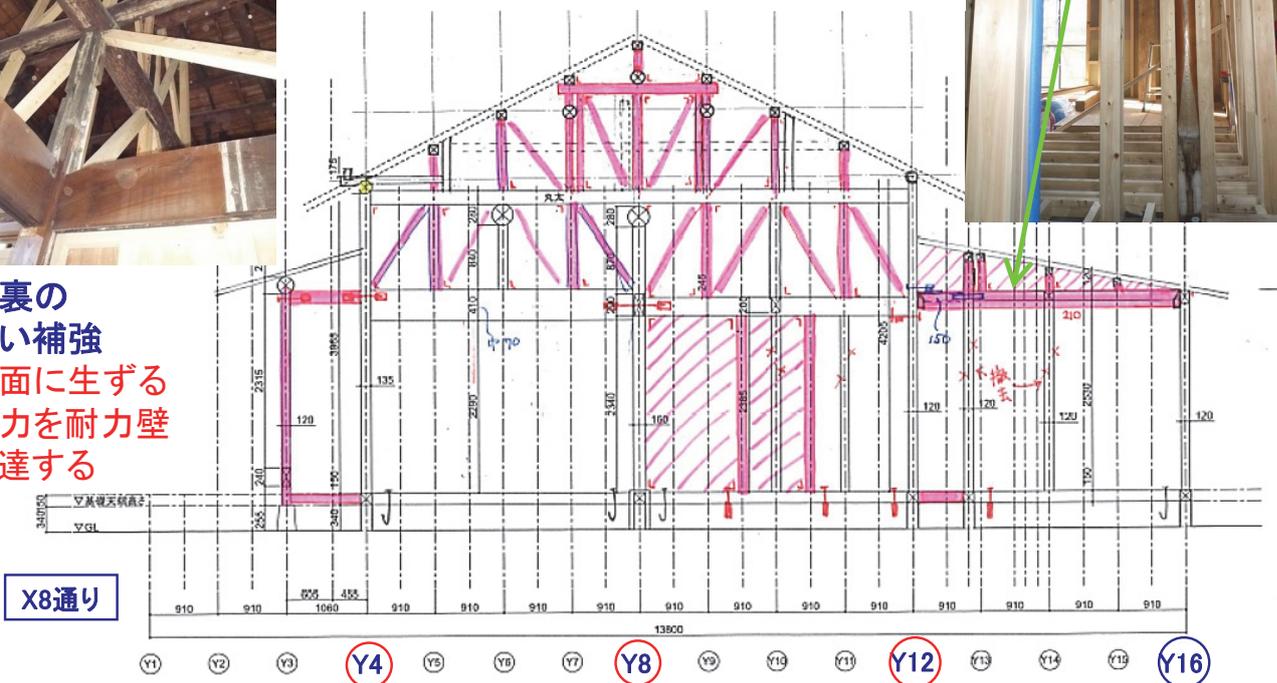
山辺構造設計事務所

南北方向の軸組補強要領



小屋裏の筋かい補強
屋根面に生ずる水平力を耐力壁に伝達する

下屋天井面の水平構面補強



山辺構造設計事務所

南北方向の軸組補強要領

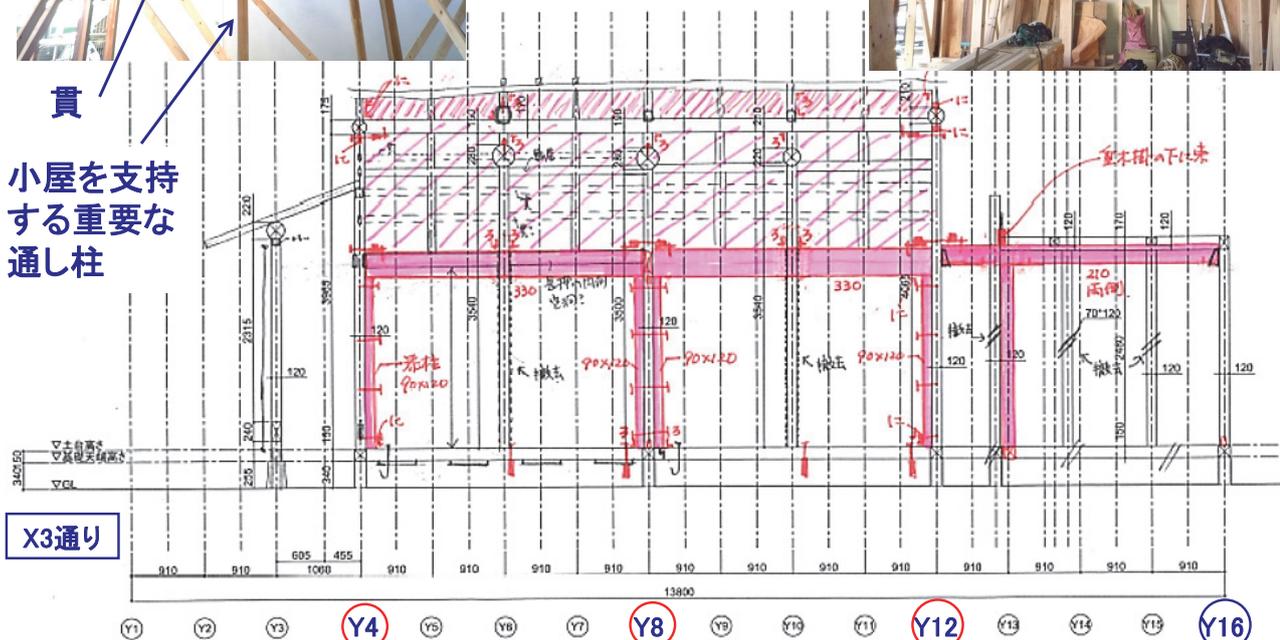


貫

小屋を支持する重要な通し柱



既存通し柱を切断し、小屋梁を新設



山辺構造設計事務所

改修 P.●●

スライド凡例・出版物紹介

掲載誌と掲載頁

<p>住まいを守る 耐震性入門 (風土社) 2006.05</p>	<p>渡り腮構法の 住宅のつくり方 (建築技術) 2008.12</p>	<p>ヤマベの木構造 (エクснаレッジ) 2009.04, 2009.10(2), 2011.01(3), 2012.10(4)</p>			<p>世界で一番やさしい 木構造 (エクснаレッジ) 2008.11</p>	
<p>改 2008.10</p> 	 <p>渡り腮</p>	<p>増補改訂版 2013.05</p>  <p>初版</p>	 <p>増補版</p>	<p>新版DVD付 2020.07</p>  <p>新版</p>	<p>増補改訂カラー版 最新改訂版 増補改訂版 2013.02 2019.03 2022.12</p>  <p>世界で一番やさしい木構造</p>	
<p>ゼロからはじめる 建築知識 05木構造 (エクснаレッジ) 2010.09</p>	<p>木を活かす建築推進協会 「担い手育成基礎講座シ リーズ」DVD 2011.06 3. 山辺豊彦のヤマベ の木構造</p>	<p>世界で一番くわ しい 木構造 (エクснаレッジ) 2011.08</p>	<p>ストーリーで面白 いほど頭に入る 02木構造 (エクснаレッジ) 2012.01</p>	<p>木の構造システムと設 計法 伏図・軸組図作成 法と納まり (奎人の会) 2012.03</p>	<p>ヤマベの木構 造現場必携ハ ンドブック (エクснаレッジ) 2013.09 改 2022.02</p>	<p>ヤマベの 耐震改修 (エクснаレッジ) 2018.01</p>
	 <p>3巻セット 本体:1,500円+送料 無料 www.kiwoikasu.or.jp 完売</p>					 <p>改修</p>

山辺構造設計事務所