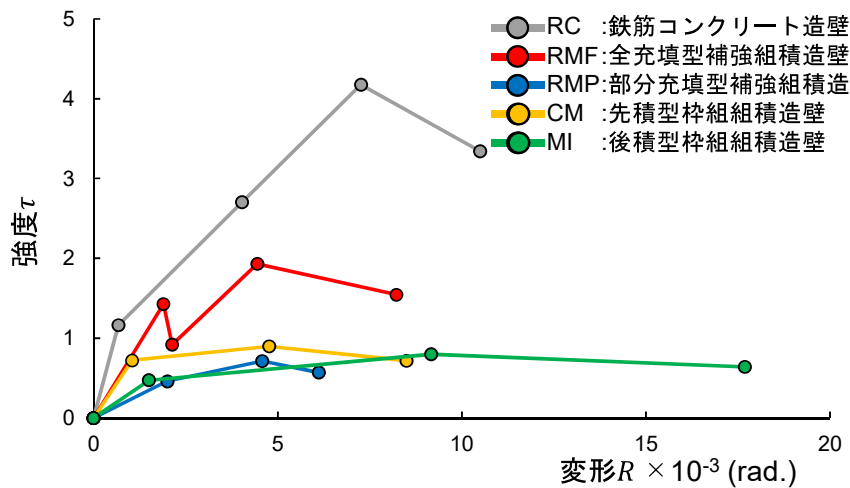


第7章 分析結果のまとめ

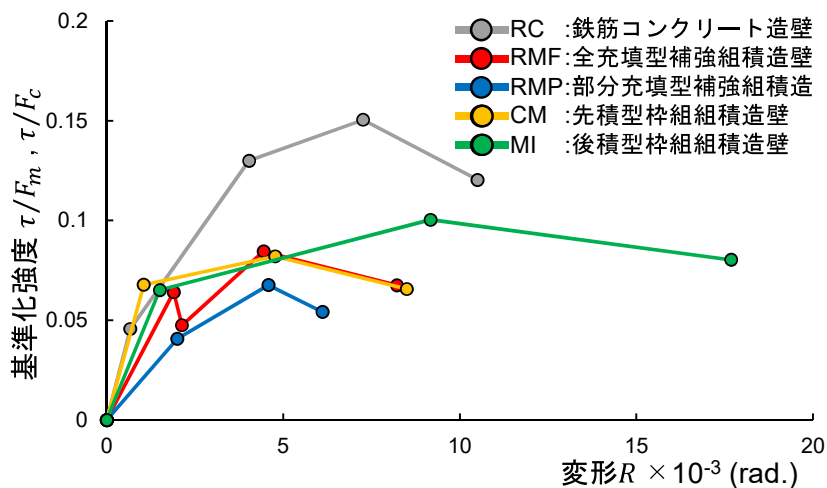
本章では、第3章～第6章の分析結果について考察とまとめを行う。

7.1 強度・変形の実験値の分析

本節では、3.1節の強度・変形の実験値の分布について考察とまとめを行う。図7.1に表3.1より得られた確率密度曲線の最大値に対応する強度と変形より、組積造壁(RMF、RMP、CM、MI)と鉄筋コンクリート造(RC)壁の復元力特性を示す。



(a) 強度 τ



(b) 基準化強度 $\tau/F_m, \tau/F_c$

図7.1 確率密度曲線の最大値に対応する強度と変形による復元力特性

(1) ひび割れ時の強度と変形

図 3.1(a)より、ひび割れ強度 τ_{cr} では全充填型補強組積造 (RMF) 壁と鉄筋コンクリート造 (RC) 壁が他の組積造壁 (RMP、CM、MI) に比べ大きな値を示した。一方、図 3.1(b)より、基準化ひび割れ強度 $\tau_{cr}/F_m \cdot \tau_{cr}/F_c$ では組積造壁 (RMF、RMP、CM、MI) 及び鉄筋コンクリート造 (RC) 壁がほぼ同じ値を示した。このため、全充填型補強組積造 (RMF) 壁と鉄筋コンクリート造 (RC) 壁は他の組積造壁 (RMP、CM、MI) に比べ、高い材料強度 (組積体の圧縮強度 F_m (N/mm²)、コンクリートの圧縮強度 F_c (N/mm²)) のものが使用されている。

図 3.1(c)より、ひび割れ変形 R_{cr} では部分充填型補強組積造 (RMP) 壁、全充填型補強組積造 (RMF) 壁、後積型枠組積造 (MI) 壁、先積型枠組積造 (CM) 壁、鉄筋コンクリート造 (RC) 壁の順に大きい値を示した。

図 7.1(a)より、原点とひび割れ点を結んだ剛性である初期剛性は鉄筋コンクリート造 (RC) 壁が最も大きく、全充填型補強組積造 (RMF) 壁、先積型枠組積造 (CM) 壁、後積型枠組積造 (MI) 壁、部分充填型補強組積造 (RMP) 壁と小さくなる。これは、組積造壁 (RMF、RMP、CM、MI) が鉄筋コンクリート造 (RC) 壁に比べ、一体性に乏しく、特に部分充填型補強組積造 (RMP) 壁の場合では壁内に空洞があるためと考えられる。

図 3.1 より、組積造壁 (RMF、RMP、CM、MI) のひび割れ強度 τ_{cr} と組積体の見掛け上の引張強度を表す変数 $\sqrt{F_m}$ の相関係数を求めると 0.584 となり、2.5 節の圧縮強度 σ_B とコンクリートのひび割れ強度 $c\sigma_t$ の相関係数 (0.475) よりも正の相関があり、組積造壁のばらつきは小さい傾向があると言える。

(2) 降伏時の強度と変形

図 3.2(a)、図 3.2(b)より、降伏強度 τ_y 及び基準化降伏強度 $\tau_y/F_m \cdot \tau_y/F_c$ では、鉄筋コンクリート造 (RC) 壁の方が全充填型補強組積造 (RMF) 壁より大きな値を示した。また、図 3.2(c)より、降伏変形 R_y においても、鉄筋コンクリート造 (RC) 壁の方が全充填型補強組積造 (RMF) 壁より大きな値を示した。このため、鉄筋コンクリート造 (RC) 壁より全充填型補強組積造 (RMF) 壁は、初期剛性 (原点とひび割れ点を結んだ剛性) は小さいが、強度が小さい段階で降伏するため、鉄筋コンクリート造 (RC) 壁より早期に降伏する。また、図 3.2(c)、図 7.1 より、全充填型補強組積造 (RMF) 壁はひび割れとほぼ同時に降伏し、その後、2 程度の塑性率で最大強度を示す。

(3) 最大強度と最大強度時変形

図 3.3 より、最大強度 τ_{max} 及び基準化最大強度 $\tau_{max}/F_m \cdot \tau_{max}/F_c$ では、鉄筋コンクリート造 (RC) 壁の方が組積造壁 (RMF、RMP、CM、MI) より大きな値を示した。組積造壁のうち、全充填型補強組積造 (RMF) 壁が最も大きな最大強度 τ_{max} を示したが、基準化最大強度 τ_{max}/F_m では組積造壁の種別による差異はほとんど見られなかった。これは、ひび割れ強度で

も述べたように、全充填型補強組積造 (RMF) 壁が他の組積造壁 (RMP、CM、MI) に比べ、高い材料強度 (組積体の圧縮強度 F_m (N/mm²)) を用いているためである。また、表 2.2、表 2.4 より、全充填型補強組積造 (RMF) 壁と鉄筋コンクリート造 (RC) 壁は他の組積造壁 (RMP、CM、MI) に比べ、高い軸応力度 σ_0 を有することも要因として考えられる。

図 3.4(a)より、最大強度時変形 R_{max} では後積型枠組組積造 (MI) 壁が最も大きな値を示した。全充填型補強組積造 (RMF) 壁、部分充填型補強組積造 (RMP) 壁、先積型枠組組積造 (CM) 壁はほぼ同じ値を示し、富井による鉄筋コンクリート造 (RC) 壁¹⁶⁾とほぼ同程度の値であった。一方、図 3.4(a)、図 7.1 より、本資料で誘導した鉄筋コンクリート造 (RC) 壁は組積造壁 (RMF、RMP、CM、MI) よりも大きい値を示した。本資料の鉄筋コンクリート造 (RC) 壁と富井による鉄筋コンクリート造 (RC) 壁¹⁶⁾が異なる要因として、富井による鉄筋コンクリート造 (RC) 壁¹⁶⁾が 1968 年以前の実験値に基づく結果である一方、本資料による鉄筋コンクリート造 (RC) 壁は 1971 年以降の実験値を用いているため、コンクリートや鉄筋などの材料強度及び軸力等が異なることが考えられる。このため、近年の鉄筋コンクリート造 (RC) 壁と比べて、全充填型補強組積造 (RMF) 壁、部分充填型補強組積造 (RMP) 壁、先積型枠組組積造 (CM) 壁は最大強度 τ_{max} と最大強度時変形 R_{max} が小さいと言える。

(4) 限界変形

図 3.4(b)より、限界変形 R_u でも後積型枠組組積造 (MI) 壁が最も大きな値を示した。鉄筋コンクリート造 (RC) 壁、先積型枠組組積造 (CM) 壁、全充填型補強組積造 (RMF) 壁、部分充填型補強組積造 (RMP) 壁の順に大きな値を示し、全充填型補強組積造 (RMF) 壁と先積型枠組組積造 (CM) 壁はほぼ同じ値を示した。これより、全充填型補強組積造 (RMF) 壁、部分充填型補強組積造 (RMP) 壁、先積型枠組組積造 (CM) 壁はある程度の一体性を有しているが、後積型枠組組積造 (MI) 壁は破壊メカニズムが異なり、限界点では壁と柱・梁の一体性が損なわれていると考えられる (図 1.4(c)参照)

(5) 降伏変形に対する塑性率と最大強度時変形に対する塑性率

表 3.1 より、限界変形 R_u と最大強度時変形 R_{max} の比 (R_u/R_{max}) である最大強度時変形に対する塑性率では、全充填型補強組積造 (RMF) 壁、先積型枠組組積造 (CM) 壁、後積型枠組組積造 (MI) 壁が鉄筋コンクリート造 (RC) 壁に比べ、大きな値を示した。また、部分充填型補強組積造 (RMP) 壁のみ鉄筋コンクリート造 (RC) 壁より小さな値を示した。これより、全充填型補強組積造 (RMF) 壁と先積型枠組組積造 (CM) 壁は鉄筋コンクリート造 (RC) 壁より優れた延性を有している。一方、部分充填型補強組積造 (RMP) 壁は、全充填型補強組積造 (RMF) 壁と比べると充填部分が少なく、壁内に空洞があり、先積型枠組組積造 (CM) 壁と比べると柱梁骨組みによる拘束がないため、変形性能は小さいと言える。なお、後積型枠組組積造 (MI) 壁の値が大きいのは、前述のように、破壊メカニズムが他の組積造壁 (RMF、RMP、CM) と異なるためである (図 1.4(c)参照)。

限界変形 R_u と降伏変形 R_y の比 (R_u/R_y) である降伏変形に対する塑性率では、全充填型補強組積造 (RMF) 壁の方が鉄筋コンクリート造 (RC) 壁に比べ、大きな値を示した。これより、全充填型補強組積造 (RMF) 壁は、鉄筋コンクリート造 (RC) 壁に比べ強度は小さいが、変形性能は大きいと言える。

(6) 復元力特性

図 7.1 より、鉄筋コンクリート造 (RC) 壁は全充填型補強組積造 (RMF) 壁、部分充填型補強組積造 (RMP) 壁、先積型枠組組積造 (CM) 壁に比べ、大きな強度と変形を示した。組積造壁の比較では、後積型枠組組積造 (MI) 壁のみ異なる復元力特性を示した。また、部分充填型補強組積造 (RMP) 壁が強度、変形共に小さい結果となった。全充填型補強組積造 (RMF) 壁と先積型枠組組積造 (CM) 壁は、基準化強度 τ/F_m ではほぼ同じ復元力特性を示したが、強度 τ では全充填型補強組積造 (RMF) 壁の方が大きい値を示した。これより、全充填型補強組積造 (RMF) 壁と先積型枠組組積造 (CM) 壁は似たような性質を有し、その違いは材料強度 (組積体の圧縮強度 F_m) による影響が大きい。部分充填型補強組積造 (RMP) 壁は、全充填型補強組積造 (RMF) 壁と比べると充填部分が少なく、壁内に空洞があり、先積型枠組組積造 (CM) 壁と比べると柱梁骨組みによる拘束がないため、強度、変形共に乏しい復元力特性を示した。後積型枠組組積造 (MI) 壁は他の組積造壁 (RMF、RMP、CM) と異なる性質を有している。鉄筋コンクリート造 (RC) 壁は強度、一体性共に優れている。

7.2 鉄筋コンクリート造（RC）壁の評価式の適用

本節では、第4章の鉄筋コンクリート造（RC）壁に用いられる評価式の適用について考察とまとめを行う。

図4.1より、全充填型補強組積造（RMF）壁は、せん断強度式((2.10)式)と曲げ強度式((2.11)式)と良い対応を示した。部分充填型補強組積造（RMP）壁のせん断強度は、せん断強度式((2.10)式)より小さい値を示すデータが多く、曲げ強度式((2.11)式)と良い対応を示した。

図4.2より、基準化最大強度 τ_{max}/F_m の回帰分析と補強組積造（RM）壁（全充填型補強組積造（RMF）壁＋部分充填型補強組積造（RMP）壁）の実験値は良い対応を示した。

上記より、全充填型補強組積造（RMF）壁は、回帰式の代わりにせん断強度式((2.10)式)と曲げ強度式((2.11)式)を用いても良い。一方、部分充填型補強組積造（RMP）壁は回帰式の代わりに、曲げ強度式((2.11)式)を用いても良いが、せん断強度では回帰式を用いるか、せん断強度式((2.10)式)に係数を乗じる必要がある。

図4.3より、せん断強度式((2.10)式)では、後積型枠組組積造（MI）壁、先積型枠組組積造（CM）壁共にばらつく結果となり、先積型枠組組積造（CM）壁はせん断強度式((2.10)式)より小さい値を示すデータが多かった。曲げ強度式((2.11)式)では、先積型枠組組積造（CM）壁が良い対応を示したが、後積型枠組組積造（MI）壁は変動係数（CV）が0.81となり、曲げ強度式((2.11)式)よりかなり小さな値を示すデータが多かった。

図4.4より、基準化最大強度 τ_{max}/F_m の回帰分析では、枠組組積造（FM）壁（先積型枠組組積造（CM）壁＋後積型枠組組積造（MI）壁）の実験値は良い対応を示した。

上記より、先積型枠組組積造（CM）壁は、回帰式の代わりに曲げ強度式((2.11)式)を用いても良い。一方、後積型枠組組積造（MI）壁は、回帰式を用いた方が良い。

7.3 強度を推定する回帰式

本節では、第5章、第6章の強度を推定する回帰式について考察とまとめを行う。

図5.1～図6.4の強度を推定する回帰式と偏相関行列の大きい順に回帰式の影響因子の適用範囲を表7.1及び(7.1)式～(7.15)式に示す。なお、MVは平均値、SDは標準偏差、CVは変動係数、ERR30は30%以内のデータ数(ERR30)を示す。

全充填型補強組積造(RMF)壁のひび割れ強度 τ_{cr} 、基準化ひび割れ強度 τ_{cr}/F_m の30%以内のデータ数(ERR30)はそれぞれ88%、91%となり、鉄筋コンクリート部材の降伏曲げモーメントの推定式において、 $\pm 20\%$ の範囲に実験値の約90%が入る精度¹⁹⁾には及ばないが、鉄筋コンクリート部材の曲げ降伏時剛性低下率 α_y の推定式において、 $\pm 30\%$ の範囲に実験値の90%が入る精度¹⁹⁾と同等の精度であると言える。また、文献¹⁹⁾にて、鉄筋コンクリート部材のひび割れ時の実験値のばらつきは大きい、本資料の全充填型補強組積造(RMF)壁は鉄筋コンクリート部材よりばらつきが小さいと言える。降伏強度 τ_y 、基準化降伏強度 τ_y/F_m の30%以内のデータ数(ERR30)は81%、70%となった。せん断破壊型(S)及び曲げせん断破壊(FS)に分類した全充填型補強組積造(RMF)壁の基準化最大強度 τ_{max}/F_m の30%以内のデータ数(ERR30)は92%と実験値と極めて良い対応を示した。曲げ破壊(F)に分類した全充填型補強組積造(RMF)壁の基準化最大強度 τ_{max}/F_m の30%以内のデータ数(ERR30)は87%となった。全充填型補強組積造(RMF)壁の強度を推定する回帰式は、30%以内のデータ数(ERR30)は70%～92%となり、実験値を良く推定しうる。

部分充填型補強組積造(RMP)壁のひび割れ強度 τ_{cr} 、基準化ひび割れ強度 τ_{cr}/F_m の30%以内のデータ数(ERR30)はそれぞれ60%、64%となった。せん断破壊型(S)及び曲げせん断破壊(FS)に分類した部分充填型補強組積造(RMP)壁の基準化最大強度 τ_{max}/F_m の30%以内のデータ数(ERR30)は60%となった。部分充填型補強組積造(RMP)壁の強度を推定する回帰式は、30%以内のデータ数(ERR30)は60%～64%となった。

先積型枠組積造(CM)壁のひび割れ強度 τ_{cr} 、基準化ひび割れ強度 τ_{cr}/F_m の30%以内のデータ数(ERR30)は58%、61%となった。せん断破壊型(S)及び曲げせん断破壊(FS)に分類した先積型枠組積造(CM)壁の基準化最大強度 τ_{max}/F_m の30%以内のデータ数(ERR30)は66%となった。先積型枠組積造(CM)壁の強度を推定する回帰式は、30%以内のデータ数(ERR30)は58%～66%となった。

後積型枠組積造(MI)壁のひび割れ強度 τ_{cr} 、基準化ひび割れ強度 τ_{cr}/F_m の30%以内のデータ数(ERR30)は37%、54%となった。せん断破壊型(S)及び曲げせん断破壊(FS)に分類した後積型枠組積造(MI)壁の基準化最大強度 τ_{max}/F_m の30%以内のデータ数(ERR30)は70%となった。後積型枠組積造(MI)壁の強度を推定する回帰式は、30%以内のデータ数(ERR30)は37%～70%となった。

強度を推定する回帰式では、全充填型補強組積造(RMF)壁が70%以上の精度を有し、ひび割れ強度 τ_{cr} 、基準化ひび割れ強度 τ_{cr}/F_m 、せん断破壊型(S)及び曲げせん断破壊(FS)に分類した基準化最大強度 τ_{max}/F_m 、曲げ破壊(F)に分類した基準化最大強度

τ_{max}/F_m は鉄筋コンクリート部材の曲げ降伏時剛性低下率 α_y の推定式において、 $\pm 30\%$ の範囲に実験値の 90% が入る精度と同等の精度を有していた。また、部分充填型補強組積造 (RMP) 壁、先積型枠組組積造 (CM) 壁、後積型枠組組積造 (MI) 壁の順に良い精度を示した。

表7.1 強度を推定する回帰式

壁種類	破壊モード	回帰式	適用範囲	MV	SD	CV	ERR30	図	式
RMF	S・FS・F	$\tau_{cr} = 0.43 - 1.2 \frac{h}{L} + 6.6 \frac{\sigma_0}{F_m} + 0.35 \sqrt{F_m}$	$\frac{h}{L}: 0.41 \sim 1.71, \frac{\sigma_0}{F_m}: 0.00 \sim 0.26, \sqrt{F_m}: 3.62 \sim 5.88$	1.01	0.20	0.19	88%	図5.1(a)	(7.1)
		$\frac{\tau_{cr}}{F_m} = 0.14 - 0.057 \frac{h}{L} + 0.30 \frac{\sigma_0}{F_m} - 0.0090 \sqrt{F_m}$	$\frac{h}{L}: 0.41 \sim 1.71, \frac{\sigma_0}{F_m}: 0.00 \sim 0.26, \sqrt{F_m}: 3.62 \sim 5.88$	1.00	0.18	0.18	91%	図5.1(b)	(7.2)
		$\tau_y = 0.37 + 5.0 \frac{\sigma_0}{F_m} + 0.058 \sqrt{F_m} - 0.36 \frac{A_c}{A_w}$	$\frac{\sigma_0}{F_m}: 0.00 \sim 0.11, \sqrt{F_m}: 3.62 \sim 5.58, \frac{A_c}{A_w}: 0.00 \sim 0.35$	1.00	0.29	0.29	81%	図5.3(a)	(7.3)
		$\frac{\tau_y}{F_m} = 0.019 + 0.29 \frac{\sigma_0}{F_m} + 0.17 \frac{p_{we} \sigma_y}{F_m} - 0.0034 \frac{h}{L}$	$\frac{\sigma_0}{F_m}: 0.00 \sim 0.11, \frac{p_{we} \sigma_y}{F_m}: 0.01 \sim 0.16, \frac{h}{L}: 0.45 \sim 2.21$	1.00	0.31	0.31	70%	図5.3(b)	(7.4)
		$\frac{\tau_{max}}{F_m} = 0.11 + 0.42 \frac{p_{we} \sigma_{wy}}{F_m} - 0.059 \frac{\tau_{su}}{\tau_{nu}} + 0.051 \frac{\sigma_0}{F_m}$	$\frac{p_{we} \sigma_{wy}}{F_m}: 0.00 \sim 0.12, \frac{\tau_{su}}{\tau_{nu}}: 0.41 \sim 1.52, \frac{\sigma_0}{F_m}: 0.00 \sim 0.26$	1.00	0.17	0.17	92%	図5.4(a)	(7.5)
RMP	S・FS・F	$\frac{\tau_{max}}{F_m} = 0.069 - 0.021 \frac{h}{L} + 0.16 \frac{\sigma_0}{F_m} + 0.21 \frac{p_{we} \sigma_{wy}}{F_m}$	$\frac{h}{L}: 0.62 \sim 2.21, \frac{\sigma_0}{F_m}: -0.02 \sim 0.19, \frac{p_{we} \sigma_{wy}}{F_m}: 0.02 \sim 0.20$	1.00	0.23	0.23	87%	図5.6(a)	(7.6)
		$\tau_{cr} = -0.14 + 3.2 \frac{p_{we} \sigma_{wy}}{F_m} + 0.16 \sqrt{F_m} - 0.048 \frac{h}{L}$	$\frac{p_{we} \sigma_{wy}}{F_m}: 0.00 \sim 0.14, \sqrt{F_m}: 1.89 \sim 4.30, \frac{h}{L}: 0.41 \sim 2.37$	1.01	0.38	0.37	60%	図5.2(a)	(7.7)
		$\frac{\tau_{cr}}{F_m} = 0.027 + 0.46 \frac{p_{we} \sigma_{wy}}{F_m} + 0.035 \frac{A_c}{A_w} + 0.0048 \frac{p_{te} \sigma_y}{F_m}$	$\frac{p_{we} \sigma_{wy}}{F_m}: 0.00 \sim 0.14, \frac{A_c}{A_w}: 0.00 \sim 0.42, \frac{p_{te} \sigma_y}{F_m}: 0.00 \sim 0.18$	1.00	0.41	0.41	64%	図5.2(b)	(7.8)
		$\frac{\tau_{max}}{F_m} = 0.022 + 0.80 \frac{p_{we} \sigma_{wy}}{F_m} + 0.14 \frac{p_{te} \sigma_y}{F_m} + 0.0095 \frac{h}{L}$	$\frac{p_{we} \sigma_{wy}}{F_m}: 0.00 \sim 0.14, \frac{p_{te} \sigma_y}{F_m}: 0.00 \sim 0.24, \frac{h}{L}: 0.41 \sim 2.37$	1.01	0.40	0.39	60%	図5.5(a)	(7.9)
		$\tau_{cr} = 1.2 - 0.085 \frac{F_c}{F_m} - 0.56 \frac{h}{L} + 1.8 \frac{e^{p_w \sigma_{cy}}}{F_m}$	$\frac{F_c}{F_m}: 0.55 \sim 16.85, \frac{h}{L}: 0.27 \sim 1.56, \frac{e^{p_w \sigma_{cy}}}{F_m}: 0.00 \sim 0.59$	1.07	0.50	0.46	58%	図6.1(a)	(7.10)
CM	S・FS・F	$\frac{\tau_{cr}}{F_m} = 0.028 + 0.47 \frac{A_c}{A_w} + 0.50 \frac{\sigma_0}{F_m} - 0.064 \frac{h}{L}$	$\frac{h}{L}: 0.27 \sim 1.56, \frac{A_c}{A_w}: 0.03 \sim 0.22, \frac{\sigma_0}{F_m}: -0.01 \sim 0.18$	1.02	0.45	0.44	61%	図6.1(b)	(7.11)
		$\frac{\tau_{max}}{F_m} = 0.015 + 0.66 \frac{\sigma_0}{F_m} + 0.064 \frac{e^{p_w \sigma_{cy}}}{F_m} + 0.20 \frac{p_{te} \sigma_y}{F_m}$	$\frac{\sigma_0}{F_m}: -0.01 \sim 0.20, \frac{e^{p_w \sigma_{cy}}}{F_m}: 0.01 \sim 1.81, \frac{p_{te} \sigma_y}{F_m}: 0.00 \sim 0.27$	1.00	0.32	0.32	66%	図6.3(a)	(7.12)
		$\tau_{cr} = -0.056 - 0.70 \frac{h}{L} + 0.29 \sqrt{F_m} + 0.52 \frac{\sigma_0}{F_m}$	$\frac{h}{L}: 0.32 \sim 0.91, \sqrt{F_m}: 1.28 \sim 5.81, \frac{\sigma_0}{F_m}: 0.01 \sim 1.45$	1.00	0.51	0.51	37%	図6.2(a)	(7.13)
		$\frac{\tau_{cr}}{F_m} = 0.074 + 0.22 \frac{\sigma_0}{F_m} - 0.0064 \frac{F_c}{F_m} - 0.053 \frac{h}{L}$	$\frac{\sigma_0}{F_m}: 0.01 \sim 1.45, \frac{F_c}{F_m}: 0.86 \sim 25.66, \frac{h}{L}: 0.32 \sim 0.91$	1.00	0.43	0.44	54%	図6.2(b)	(7.14)
		$\frac{\tau_{max}}{F_m} = 0.024 + 0.17 \frac{\sigma_0}{F_m} + 0.0068 \frac{F_c}{F_m} + 0.090 \frac{A_c}{A_w}$	$\frac{\sigma_0}{F_m}: 0.01 \sim 0.71, \frac{F_c}{F_m}: 0.72 \sim 33.33, \frac{A_c}{A_w}: 0.11 \sim 0.50$	0.98	0.31	0.31	70%	図6.4(a)	(7.15)

7.4 変形を推定する回帰式

本節では、第5章、第6章の変形を推定する回帰式について考察とまとめを行う。

図5.1～図6.4の変形を推定する回帰式と偏相関行列の大きい順に回帰式の影響因子の適用範囲を表7.2及び(7.16)式～(7.30)式に示す。なお、MVは平均値、SDは標準偏差、CVは変動係数、ERR30は30%以内のデータ数（ERR30）を示す。

全充填型補強組積造（RMF）壁のひび割れ変形 R_{cr} 、降伏変形 R_y の30%以内のデータ数（ERR30）はそれぞれ67%、58%とった。せん断破壊型（S）及び曲げせん断破壊（FS）に分類した全充填型補強組積造（RMF）壁の最大強度時変形 R_{max} 、限界変形 R_u の30%以内のデータ数（ERR30）はそれぞれ57%、48%となった。曲げ破壊（F）に分類した全充填型補強組積造（RMF）壁の最大強度時変形 R_{max} 、限界変形 R_u の30%以内のデータ数（ERR30）はそれぞれ52%、69%となった。全充填型補強組積造（RMF）壁の変形を推定する回帰式は、30%以内のデータ数（ERR30）は48%～69%となった。

部分充填型補強組積造（RMP）壁のひび割れ変形 R_{cr} の30%以内のデータ数（ERR30）は57%となった。せん断破壊型（S）及び曲げせん断破壊（FS）に分類した部分充填型補強組積造（RMP）壁の最大強度時変形 R_{max} 、限界変形 R_u の30%以内のデータ数（ERR30）はそれぞれ57%、51%となった。部分充填型補強組積造（RMP）壁の変形を推定する回帰式は、30%以内のデータ数（ERR30）は51%～57%となった。

先積型枠組積造（CM）壁のひび割れ変形 R_{cr} の30%以内のデータ数（ERR30）は58%となった。せん断破壊型（S）及び曲げせん断破壊（FS）に分類した先積型枠組積造（CM）壁の最大強度時変形 R_{max} 、限界変形 R_u の30%以内のデータ数（ERR30）はそれぞれ48%、53%となった。先積型枠組積造（CM）壁の変形を推定する回帰式は、30%以内のデータ数（ERR30）は48%～58%となった。

後積型枠組積造（MI）壁のひび割れ変形 R_{cr} の30%以内のデータ数（ERR30）は25%となった。せん断破壊型（S）及び曲げせん断破壊（FS）に分類した後積型枠組積造（MI）壁の最大強度時変形 R_{max} 、限界変形 R_u の30%以内のデータ数（ERR30）はそれぞれ44%、46%となった。後積型枠組積造（MI）壁の変形を推定する回帰式は、30%以内のデータ数（ERR30）は25%～46%となった。

変形を推定する回帰式では、強度を推定する回帰式に比べて、30%以内のデータ数（ERR30）は小さくなる傾向を示した。また、部分充填型補強組積造（RMP）壁、全充填型補強組積造（RMF）壁、先積型枠組積造（CM）壁、後積型枠組積造（MI）壁の順に良い精度を示した。なお、後積型枠組積造（MI）壁において、ひび割れ変形 R_{cr} の30%以内のデータ数（ERR30）が25%と極めて小さい値となった要因として、後積型枠組積造（MI）壁は破壊メカニズムが他の組積造壁（RMF、RMP、CM）と異なるため、ひび割れが生じる箇所（柱、梁、壁）が実験値によって異なるためと考えられる。本資料の回帰式を用いる際は、これらの精度を考慮する必要がある。

表7.2 変形を推定する回帰式

壁種類	破壊モード	回帰式	適用範囲	MV	SD	CV	ERR30	図	式
RMF	S・FS・F	$R_{cr} = -1.6 + 2.0 \frac{h}{L} + 0.43 \sqrt{\frac{F_m}{F_n}} - 2.4 \frac{\sigma_0}{F_m}$	$\frac{h}{L}: 0.41 \sim 2.10, \sqrt{\frac{F_m}{F_n}}: 3.62 \sim 5.88, \frac{\sigma_0}{F_m}: -0.02 \sim 0.26$	0.99	0.44	0.44	67%	図5.1(c)	(7.16)
		$R_y = -0.97 + 2.3 \frac{h}{L} - 5.1 \frac{A_c}{A_w} + 8.3 \frac{\sigma_0}{F_m}$	$\frac{h}{L}: 0.45 \sim 2.21, \frac{A_c}{A_w}: 0.00 \sim 0.35, \frac{\sigma_0}{F_m}: 0.00 \sim 0.11$	1.00	0.34	0.34	58%	図5.3(c)	(7.17)
RMF	S・FS	$R_{max} = -0.71 + 5.5 \frac{h}{L} + 31 \frac{p_{we} \cdot \sigma_{wy}}{F_m} - 0.60 \frac{\tau_{su}}{\tau_{mu}}$	$\frac{h}{L}: 0.41 \sim 1.71, \frac{p_{we} \cdot \sigma_{wy}}{F_m}: 0.00 \sim 0.12, \frac{\tau_{su}}{\tau_{mu}}: 0.41 \sim 1.52$	1.00	0.41	0.41	57%	図5.4(b)	(7.18)
		$R_u = -0.16 + 77 \frac{p_{we} \cdot \sigma_{wy}}{F_m} + 7.7 \frac{\tau_{su}}{\tau_{mu}} - 18 \frac{p_{te} \cdot \sigma_y}{F_m}$	$\frac{p_{we} \cdot \sigma_{wy}}{F_m}: 0.00 \sim 0.12, \frac{\tau_{su}}{\tau_{mu}}: 0.41 \sim 1.52, \frac{p_{te} \cdot \sigma_y}{F_m}: 0.01 \sim 0.10$	1.06	0.60	0.57	48%	図5.4(c)	(7.19)
RMF	F	$R_{max} = 0.47 + 39 \frac{\sigma_0}{F_m} + 4.9 \frac{\tau_{su}}{\tau_{mu}} + 15 \frac{A_c}{A_w}$	$\frac{\sigma_0}{F_m}: -0.02 \sim 0.19, \frac{\tau_{su}}{\tau_{mu}}: 0.60 \sim 2.40, \frac{A_c}{A_w}: 0.00 \sim 0.35$	1.01	0.50	0.50	52%	図5.6(b)	(7.20)
		$R_u = 8.0 + 6.1 \frac{\tau_{su}}{\tau_{mu}} - 24 \frac{p_{we} \cdot \sigma_{wy}}{F_m} + 2.8 \frac{h}{L}$	$\frac{\tau_{su}}{\tau_{mu}}: 0.60 \sim 2.4, \frac{p_{we} \cdot \sigma_{wy}}{F_m}: 0.02 \sim 0.20, \frac{h}{L}: 0.62 \sim 2.21$	1.00	0.30	0.30	69%	図5.6(c)	(7.21)
RMP	S・FS・F	$R_{cr} = 2.0 + 13 \frac{\sigma_0}{F_m} - 28 \frac{p_{we} \cdot \sigma_{wy}}{F_m} - 5.2 \frac{p_{te} \cdot \sigma_y}{F_m}$	$\frac{\sigma_0}{F_m}: 0.00 \sim 0.16, \frac{p_{we} \cdot \sigma_{wy}}{F_m}: 0.00 \sim 0.06, \frac{p_{te} \cdot \sigma_y}{F_m}: 0.01 \sim 0.18$	1.02	0.52	0.51	57%	図5.2(c)	(7.22)
		$R_{max} = 2.0 + 14 \frac{p_{te} \cdot \sigma_y}{F_m} + 1.3 \frac{\tau_{su}}{\tau_{mu}} + 0.49 \frac{h}{L}$	$\frac{p_{te} \cdot \sigma_y}{F_m}: 0.00 \sim 0.24, \frac{\tau_{su}}{\tau_{mu}}: 0.14 \sim 3.98, \frac{h}{L}: 0.41 \sim 2.37$	1.00	0.43	0.43	57%	図5.5(b)	(7.23)
RMP	S・FS	$R_u = 4.2 + 30 \frac{p_{we} \cdot \sigma_{wy}}{F_m} - 17 \frac{\sigma_0}{F_m} + 2.3 \frac{h}{L}$	$\frac{p_{we} \cdot \sigma_{wy}}{F_m}: 0.00 \sim 0.14, \frac{\sigma_0}{F_m}: 0.00 \sim 0.34, \frac{h}{L}: 0.41 \sim 2.37$	1.01	0.42	0.42	51%	図5.5(c)	(7.24)
		$R_{cr} = -0.33 + 4.5 \frac{p_{te} \cdot \sigma_y}{F_m} + 2.1 \frac{p_{we} \cdot \sigma_{wy}}{F_m} + 0.18 \sqrt{\frac{F_m}{F_n}}$	$\frac{p_{te} \cdot \sigma_y}{F_m}: 0.01 \sim 0.27, \frac{p_{we} \cdot \sigma_{wy}}{F_m}: 0.03 \sim 0.59, \sqrt{\frac{F_m}{F_n}}: 1.61 \sim 7.78$	0.99	0.58	0.59	58%	図6.1(c)	(7.25)
CM	S・FS	$R_{max} = 1.1 + 1.2 \frac{\tau_{su}}{\tau_{mu}} + 13 \frac{p_{te} \cdot \sigma_y}{F_m} + 6.5 \frac{A_c}{A_w}$	$\frac{\tau_{su}}{\tau_{mu}}: 0.29 \sim 4.39, \frac{p_{te} \cdot \sigma_y}{F_m}: 0.00 \sim 0.27, \frac{A_c}{A_w}: 0.03 \sim 0.31$	0.99	0.53	0.53	48%	図6.3(b)	(7.26)
		$R_u = 4.1 + 2.7 \frac{\tau_{su}}{\tau_{mu}} - 41 \frac{\sigma_0}{F_m} + 48 \frac{p_{te} \cdot \sigma_y}{F_m}$	$\frac{\tau_{su}}{\tau_{mu}}: 0.29 \sim 4.39, \frac{\sigma_0}{F_m}: -0.01 \sim 0.20, \frac{p_{te} \cdot \sigma_y}{F_m}: 0.00 \sim 0.27$	1.01	0.53	0.53	53%	図6.3(c)	(7.27)
MI	S・FS・F	$R_{cr} = 0.82 - 0.79 \frac{h}{L} - 0.076 \frac{F_c}{F_m} + 7.6 \frac{A_c}{A_w}$	$\frac{h}{L}: 0.32 \sim 0.91, \frac{F_c}{F_m}: 1.26 \sim 25.66, \frac{A_c}{A_w}: 0.12 \sim 0.35$	1.01	0.89	0.88	25%	図6.2(c)	(7.28)
		$R_{max} = 3.0 - 6.4 \frac{p_{we} \cdot \sigma_{wy}}{F_m} - 13 \frac{\sigma_0}{F_m} + 13 \frac{h}{L}$	$\frac{p_{we} \cdot \sigma_{wy}}{F_m}: 0.02 \sim 1.08, \frac{\sigma_0}{F_m}: 0.00 \sim 0.71, \frac{h}{L}: 0.320 \sim 1.36$	1.00	0.59	0.59	44%	図6.4(b)	(7.29)
MI	S・FS	$R_u = 17 - 7.4 \frac{p_{we} \cdot \sigma_{wy}}{F_m} + 44 \frac{p_{te} \cdot \sigma_y}{F_m} - 20 \frac{\sigma_0}{F_m}$	$\frac{p_{we} \cdot \sigma_{wy}}{F_m}: 0.02 \sim 1.08, \frac{p_{te} \cdot \sigma_y}{F_m}: 0.02 \sim 0.36, \frac{\sigma_0}{F_m}: 0.00 \sim 0.71$	1.00	0.51	0.51	46%	図6.4(c)	(7.30)

7.5 復元力特性における各折れ点に関する評価式

復元力特性の骨格曲線モデルを図 7.2 に示す。図 7.2 のひび割れ点、最大強度点、限界点における強度と変形について、7.3 節、7.4 節の回帰式または、7.2 節の鉄筋コンクリート造 (RC) 壁に用いられる評価式を用いて設定する。

ひび割れ点において、全ての組積造壁 (RMF、RMP、CM、MI) の強度と変形は回帰式を用いて設定する。

最大強度点において、強度は表 7.3 に示すように、全充填型補強組積造 (RMF) 壁は、回帰式またはせん断強度式((2.10)式)と曲げ強度式((2.11)式)を用いて良い。部分充填型補強組積造 (RMP) 壁は、回帰式または曲げ強度式((2.11)式)を用いて良い。図 7.3 に 0.7 倍したせん断強度式((2.10)式)と実験値の比較を示す。なお、著しくせん断強度式((2.10)式)と乖離した RMP 2-1 No.59 (組積体の圧縮強度 $F_m=3.58\text{N/mm}^2$) のデータ^{2.12)}は除いた。変動係数 (CV) は 0.31、30%以内のデータ数 (ERR30) は 72%と良い対応を示している。このため、0.7 倍したせん断強度式((2.10)式)も回帰式の代わりに用いても良いと言える。先積型枠組組積造 (CM) 壁は、回帰式または曲げ強度式((2.11)式)を用いて良い。後積型枠組組積造 (MI) 壁は、回帰式のみを用いる。

限界点において、全ての組積造壁 (RMF、RMP、CM、MI) の強度と変形は回帰式を用いて設定する。

なお、全充填型補強組積造 (RMF) 壁のみ、降伏点を求める場合には回帰式を用いて設定する。

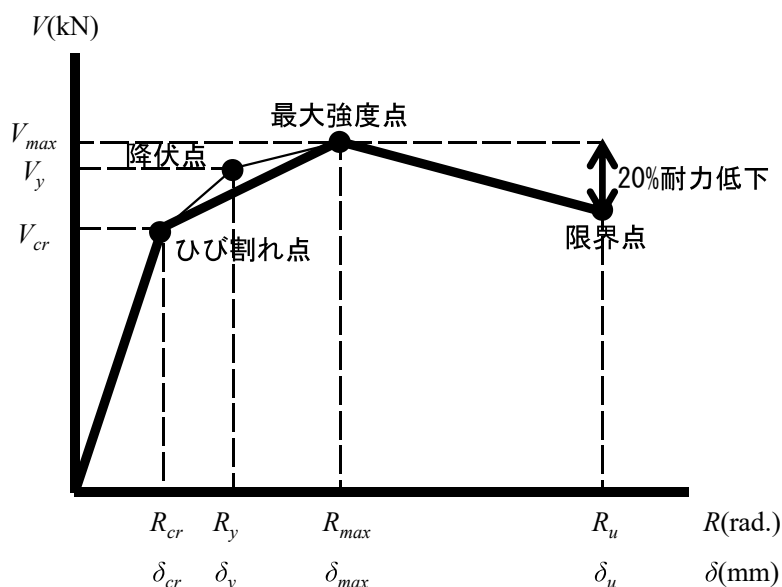


図 7.2 復元力特性の骨格曲線モデル

表 7.3 最大強度点における強度の設定

	式		
RMF	回帰式	せん断強度式(2.10)式)	曲げ強度式((2.11)式)
RMP	回帰式	せん断強度式(2.10)式) × 0.7	曲げ強度式((2.11)式)
CM	回帰式		曲げ強度式((2.11)式)
MI	回帰式		

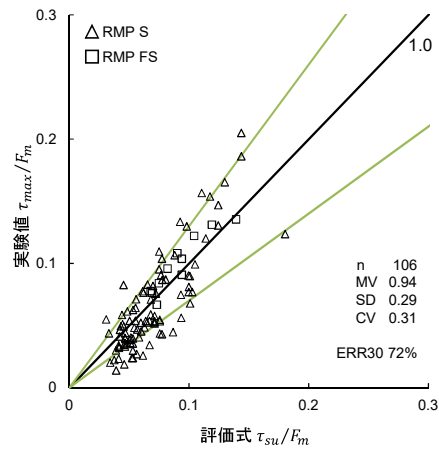


図 7.3 鉄筋コンクリート造 (RC) 壁に用いられるせん断強度式 × 0.7 の場合
(部分充填型補強組積造 (RMP) 壁)

7.6 鉄筋コンクリート造耐震診断基準の組積造壁構造への適用

本節では、前述したせん断破壊する組積造壁の靱性指標 F 、強度寄与係数 α 、せん断強度回帰式を用いて鉄筋コンクリート造の耐震診断基準を適用し、組積造建物の耐震性能を評価する方法について述べる。

(1) 鉄筋コンクリート造 (RC) 壁の靱性指標 F 値と異なる靱性指標 F 値を用いる方法

3.2 節で述べた通り、組積造壁の靱性指標 F 値はせん断破壊する鉄筋コンクリート造 (RC) 壁の靱性指標 F 値 (=1.0) より大きい。このうち、全充填型補強組積造 (RMF) 壁、部分充填型補強組積造 (RMP) 壁、先積型枠組組積造 (CM) 壁の靱性指標 F 値は、いずれもせん断柱の靱性指標 F 値 (1.0~1.27) の範囲内にその値があるため、鉄筋コンクリート造 (RC) 壁よりやや大きな靱性指標 F 値を有するせん断部材として扱えばよい。せん断破壊する後積型枠組組積造 (MI) 壁の靱性指標 F 値 (=1.52) は、鉄筋コンクリート造の耐震診断基準におけるせん断部材の靱性指標 F 値の範囲 (1.0~1.27) を超えるため、耐震診断基準の適用外となる。このため、後積型枠組組積造 (MI) 壁の適用については、今後の課題とする (後述 7.8 節)。

なお、強度指標を求めるためのせん断強度は、後述の安全率を乗じた回帰式を用いて計算する。

(2) 鉄筋コンクリート造 (RC) 壁の靱性指標 F 値と同じ靱性指標 F 値を用い、強度寄与係数 α を考慮する方法

3.2 節で述べた強度寄与係数 α を用いれば、組積造壁を鉄筋コンクリート造 (RC) 壁と同じ靱性指標 F 値 (=1.0) を有するせん断壁として扱うことができる。なお、後積型枠組組積造 (MI) 壁では、靱性指標 F 値 (=1.52) は適用外の値であるが、鉄筋コンクリート造 (RC) 壁と同じ靱性指標 F (=1.0) を用い、強度寄与係数 α (=0.44) を乗じたせん断強度を用いれば、耐震診断基準を適用することができる。

なお、強度指標を求めるためのせん断強度は、後述の安全率を乗じた回帰式を用いて計算する。

(3) 組積造壁のせん断強度の評価

鉄筋コンクリート造の耐震診断基準を適用する際の基準化最大強度 τ_{max}/F_m について考察する。せん断破壊する組積造壁の基準化最大強度 τ_{max}/F_m の回帰式は 7.3 節より、(7.5)式、(7.9)式、(7.12)式、(7.15)式で表せる。(7.5)式、(7.9)式、(7.12)式、(7.15)式は、いわば、実験値の平均値を示しているため、組積造壁のせん断強度を安全側に評価するためには、安全率を乗じた式を用いる必要がある。本項では、安全率を乗じた式を例示し、その式を下回る確率 (せん断破壊リスク (%)) について述べる。

(7.5)式、(7.9)式、(7.12)式、(7.15)式に安全率 0.7 を乗じた式を(7.31)式~(7.34)式に示す。

図 7.4 に(7.31)式～(7.34)式と実験値との比較及び、安全率 0.7 を乗じた回帰式を下回る確率（せん断破壊リスク (%)）を示す。なお、本資料では、誤差の許容範囲を 30%としている（2.5 節参照）ため安全率を 0.7 とした。

$$[\text{RMF}] \quad \frac{\tau_{max}}{F_m} = 0.7 \left(0.11 + 0.42 \frac{p_{we} \cdot \sigma_{wy}}{F_m} - 0.059 \frac{\tau_{su}}{\tau_{mu}} + 0.051 \frac{\sigma_0}{F_m} \right) \quad (7.31)$$

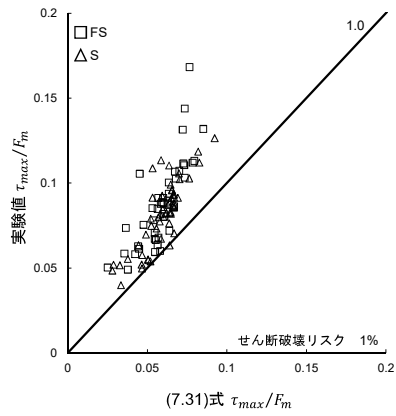
$$[\text{RMP}] \quad \frac{\tau_{max}}{F_m} = 0.7 \left(0.022 + 0.80 \frac{p_{we} \cdot \sigma_{wy}}{F_m} + 0.14 \frac{p_{te} \cdot \sigma_y}{F_m} + 0.0095 \frac{h}{L} \right) \quad (7.32)$$

$$[\text{CM}] \quad \frac{\tau_{max}}{F_m} = 0.7 \left(0.015 + 0.66 \frac{\sigma_0}{F_m} + 0.064 \frac{c p_w \cdot \sigma_{cy}}{F_m} + 0.20 \frac{p_{te} \cdot \sigma_y}{F_m} \right) \quad (7.33)$$

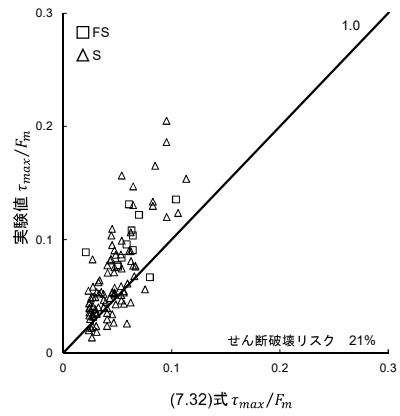
$$[\text{MI}] \quad \frac{\tau_{max}}{F_m} = 0.7 \left(0.024 + 0.17 \frac{\sigma_0}{F_m} + 0.0068 \frac{F_c}{F_m} + 0.090 \frac{A_c}{A_w} \right) \quad (7.34)$$

全充填型補強組積造（RMF）壁((7.31)式)は、せん断破壊リスクが 1%となった。部分充填型補強組積造（RMP）壁((7.32)式)は、せん断破壊リスクが 21%となった。先積型枠組組積造（CM）壁((7.33)式)は、せん断破壊リスクが 18%となった。後積型枠組組積造（MI）壁((7.34)式)は、せん断破壊リスクが 18%となった。本資料の回帰式に安全率 0.7 を乗じた(7.31)式～(7.34)式を用いる際は、20%程度のせん断破壊リスクを考慮する必要がある。

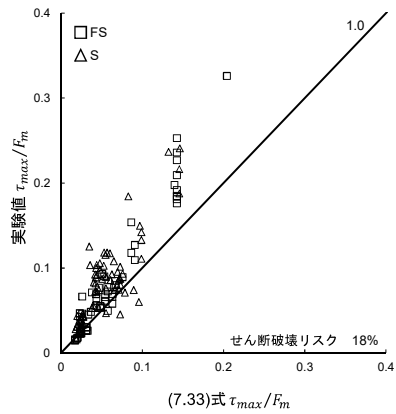
注) 参考のため、20%のせん断破壊リスクを許容する場合の各組積造壁の安全率を、確率論を用いて求めると全充填型補強組積造（RMF）壁で 0.89、部分充填型補強組積造（RMP）壁で 0.69、先積型枠組組積造（CM）壁及び後積型枠組組積造（MI）壁で 0.73 となり、全充填型補強組積造（RMF）壁、部分充填型補強組積造（RMP）壁、先積型枠組組積造（CM）壁、後積型枠組組積造（MI）壁の安全率は、上記の検討における安全率（=0.7）にほぼ一致した。



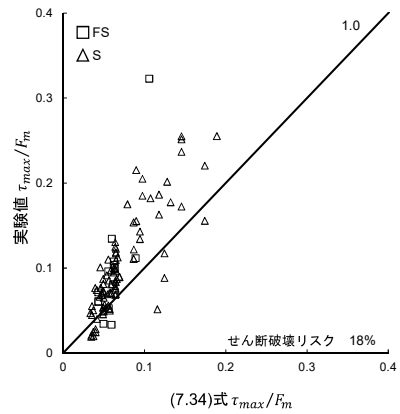
(a) 全充填型補強組積造 (RMF) 壁



(b) 部分充填型補強組積造 (RMP) 壁



(c) 先積型枠組組積造 (CM) 壁



(d) 後積型枠組組積造 (MI) 壁

図 7.4 安全率 0.7 を乗じた回帰式と実験値の比較

7.7 分析結果の建研ウェブサイトへの搭載

本資料で用いた組積造壁構造実験データベースは下記のサイトにて公開している。研究者、実務者等は、実務や研究において本データベースを活用することを望まれる。

国際地震工学センターホームページ (IISEE)

組積造構造実験データベース (Masonry Experimental Database)

<https://iisee.kenken.go.jp/masonry/Jpn.html> (英語版)

<https://iisee.kenken.go.jp/masonry/Eng.html> (日本語版)

E-mail : iisee@kenken.go.jp

本資料で用いた鉄筋コンクリート造 (RC) 壁のデータは以下のサイト「鉄筋コンクリート造構造実験データベースを用いた試験体検索システム」^{5.47)}にて文献を検索し、収集した。

国立研究開発法人建築研究所ホームページ

「鉄筋コンクリート造構造実験データベースを用いた試験体検索システム」

(URL: https://www.kenken.go.jp/japanese/research/str/rc_str_expdb.html)

7.8 今後の課題

前述では、組積造壁構造実験データベースに関して破壊モード、ひび割れ強度及び変形、降伏強度及び変形、最大強度及び変形、限界変形について検討を行った。本資料の検討により明らかになった今後の課題（追加検討事項、再検討事項）は以下の通りである。

① 後積型枠組組積造（MI）壁の再検討

後積型枠組組積造（MI）壁は7.1節の復元力特性の比較などより、他の組積造壁（RMF、RMP、CM）と異なる性質を示した。後積型枠組組積造（MI）壁は拘束鉄筋コンクリート造フレームを設置した後に組積造を施工するため、他の組積造壁（RMF、RMP、CM）に比べ、一体性が乏しい。このため、破壊メカニズムに差異が生じたと言える（図 1.4(c)参照）。今後は、後積型枠組組積造（MI）壁の実情に即した破壊メカニズムを用いた分析により、精度を高めた評価式を提案する。

② 鉄筋コンクリート造耐震診断基準の組積造建築物への適用性の検討

3.2節では、鉄筋コンクリート造の耐震診断基準で用いられる靱性指標 F と強度寄与係数 α について、組積造壁ごとの値を示した。しかし、世界的にみて組積造の建物は、鉄筋コンクリート造柱梁と組積造壁の混合構造で設計されることが多い。このため、本資料で得られた強度及び変形を推定する回帰式、靱性指標 F と強度寄与係数 α を用いて、鉄筋コンクリート造の耐震診断基準を準用し、鉄筋コンクリート造柱梁と組積造壁の混合構造の耐震診断法を提案する。

③ 構造実験データベースのメンテナンス

今後、組積造壁に使用される材料の高強度化、建物の高層化、実験データの増加が予測できる。このため、組積造壁構造実験データベースのメンテナンスを適宜行うと共にウェブサイトを更新を行う。

④ 組積造建物の設計における応答低減係数の提案

地震時における建築物の耐震性を簡明に表す係数がある。この係数は、日本では応答低減係数 F_h または構造特性係数 D_s 、米国では Response Modification Factor (R)、ヨーロッパでは Behavior Factor (q) として規定に用いられている。しかしながら、各国の耐震規定における応答低減係数の諸数値の根拠は詳しく示されていない。一方、実験データ及び解析データに基づいて特定の構造形式における建物の応答低減係数を求める研究が散見されている。このため、本資料における組積造壁構造実験データベースを用いて、組積造壁形式の建物の応答低減係数（Response Modification (Reduction) Factor）を検討、誘導する。