

## 第 10 章

### 結論

## 第 10 章 結論

### 10.1 まとめ

本報では鉄筋コンクリート造部材の構造特性評価式の検証を行うために、これまでに国内で公開されている実験に関する論文を収集し、そこから必要な試験体の特性値を抽出しデータベースを構築した。また今回構築したデータベースを用いて、全国官報販売協同組合発行の構造関係技術基準解説書（2015年版）に記載の式および日本建築学会が刊行している規準・指針類に示されている設計式を用いて鉄筋コンクリート造構造部材の各構造性能の評価精度および当該式の適用範囲について検討した。表 10.1.1 に各部材，各特性の評価精度の結果として，実験値／計算値の平均値  $\mu$ ，標準偏差  $\sigma$ ，変動係数  $\sigma / \mu$  の一覧を示す。

表 10.1.1 実験値と計算値の比較 平均値  $\mu$ ，標準偏差  $\sigma$ ，変動係数  $\sigma / \mu$ （実験値/計算値）

項目	梁				柱		腰壁・垂壁付梁		袖壁付き柱				耐力壁					接合部				
	曲げ降伏 先行型	せん断 破壊型	付着 破壊型	全体	曲げ降伏 先行型	せん断 破壊型	スリット 無し	スリット あり	両側 均等	片側(袖 壁圧縮)	片側(袖 壁引張)	全体	①I形 無開口	②矩形 無開口	①+②	③I形矩形 有開口	①+② +③	十字形	ト形	T形	L形 -閉	L形 -開
弾性剛性①	試験体数	26	10	1	37	214	22	49	11			66	51	31	82	33	115	41	33	データ 無し		9
	$\mu$	0.39	0.69	0.17	0.46	0.78	0.60	0.67	1.07			0.70	0.67	0.63	0.66	0.89	0.72	-0.36	-0.76		0.98	
	$\sigma$	0.18	0.31	0.00	0.26	0.46	0.25	0.32	0.22			0.31	0.27	0.19	0.24	0.26	0.27	15.90	10.00		0.79	
	$\sigma / \mu$	0.45	0.46	0.00	0.56	0.59	0.41	0.48	0.21			0.45	0.40	0.31	0.37	0.29	0.37	-44.17	-13.16		0.81	
	$\mu + \sigma / 2$	0.48	0.84	0.17	0.59	1.01	0.72	0.83	1.18			0.86	0.80	0.73	0.78	1.02	0.85	7.59	4.24		1.38	
	$\mu - \sigma / 2$	0.30	0.53	0.17	0.33	0.55	0.48	0.51	0.96			0.54	0.54	0.54	0.54	0.76	0.59	-8.31	-5.76		0.59	
弾性剛性②	試験体数							49	11			66	51	31	82	33	115					
	$\mu$							0.70	0.20			0.81	0.68	0.63	0.66	0.90	0.73					
	$\sigma$							0.36	0.08			0.30	0.27	0.19	0.24	0.26	0.27					
	$\sigma / \mu$							0.52	0.41			0.37	0.40	0.31	0.37	0.29	0.37					
	$\mu + \sigma / 2$							0.88	0.24			0.96	0.82	0.73	0.78	1.03	0.87					
	$\mu - \sigma / 2$							0.52	0.16			0.66	0.54	0.54	0.54	0.77	0.59					
弾性剛性③	試験体数							49	11			66										
	$\mu$							0.86	0.53			0.98										
	$\sigma$							0.43	0.13			0.38										
	$\sigma / \mu$							0.50	0.24			0.39										
	$\mu + \sigma / 2$							1.07	0.59			1.17										
	$\mu - \sigma / 2$							0.65	0.47			0.79										
弾性剛性④	試験体数								11													
	$\mu$								0.52													
	$\sigma$								0.10													
	$\sigma / \mu$								0.19													
	$\mu + \sigma / 2$								0.57													
	$\mu - \sigma / 2$								0.47													

\* 参考として、平均値  $\mu$  が 0.80~1.20 の範囲にあるものは黄色で、変動係数  $\sigma / \mu$  が 0.20 以下のものは緑色で欄を塗りつぶしている。

表 10.1.1 実験値と計算値の比較 平均値  $\mu$ ，標準偏差  $\sigma$ ，変動係数  $\sigma / \mu$ （実験値/計算値）

項目	梁				柱		腰壁・垂壁付梁		袖壁付き柱				耐力壁					接合部					
	曲げ降伏 先行型	せん断 破壊型	付着 破壊型	全体	曲げ降伏 先行型	せん断 破壊型	スリット 無し	スリット あり	両側 均等	片側(袖 壁圧縮)	片側(袖 壁引張)	全体	①I形 無開口	②矩形 無開口	①+②	③I形矩形 有開口	①+② +③	十字形	ト形	T形	L形 -閉	L形 -開	
曲げひび割れが 発生したときの 部材角	試験体数												39	31	70	12	82						
	$\mu$												1.98	2.32	2.13	0.63	1.91						
	$\sigma$												2.04	1.08	1.68	0.56	1.65						
	$\sigma / \mu$												1.03	0.47	0.79	0.89	0.87						
	$\mu + \sigma / 2$												3.00	2.86	2.97	0.91	2.74						
	$\mu - \sigma / 2$												0.96	1.78	1.29	0.35	1.09						
せん断ひび割れが 発生したときの 部材角	試験体数												61	11	72	53	125						
	$\mu$												2.90	2.47	2.84	1.49	2.27						
	$\sigma$												2.75	1.45	2.59	1.87	2.40						
	$\sigma / \mu$												0.95	0.59	0.91	1.26	1.06						
	$\mu + \sigma / 2$												4.28	3.20	4.14	2.43	3.47						
	$\mu - \sigma / 2$												1.53	1.75	1.55	0.56	1.07						
降伏点剛性 低下率①	試験体数	27				218		38	12			35											
	$\mu$	0.94				1.00		1.48	1.26			1.49											
	$\sigma$	0.21				0.41		0.76	0.40			0.62											
	$\sigma / \mu$	0.23				0.41		0.51	0.32			0.41											
	$\mu + \sigma / 2$	1.04				1.20		1.86	1.46			1.80											
	$\mu - \sigma / 2$	0.83				0.80		1.10	1.06			1.18											
降伏点剛性 低下率②	試験体数					45		19															
	$\mu$					1.32		0.72															
	$\sigma$					0.76		0.18															
	$\sigma / \mu$					0.58		0.25															
	$\mu + \sigma / 2$					1.70		0.81															
	$\mu - \sigma / 2$					0.94		0.63															
降伏点剛性 低下率③	試験体数							20															
	$\mu$							1.27															
	$\sigma$							0.58															
	$\sigma / \mu$							0.46															
	$\mu + \sigma / 2$							1.56															
	$\mu - \sigma / 2$							0.98															

\* 参考として、平均値  $\mu$  が 0.80~1.20 の範囲にあるものは黄色で、変動係数  $\sigma / \mu$  が 0.20 以下のものは緑色で欄を塗りつぶしている。

表 10.1.1 実験値と計算値の比較 平均値  $\mu$  , 標準偏差  $\sigma$  , 変動係数  $\sigma / \mu$  (実験値/計算値)

項目	梁				柱		腰壁・垂壁付梁		袖壁付き柱			耐力壁					接合部					
	曲げ降伏 先行型	せん断 破壊型	付着 破壊型	全体	曲げ降伏 先行型	せん断 破壊型	スリット 無し	スリット あり	両側 均等	片側(袖 壁圧縮)	片側(袖 壁引張)	全体	①I形 無開口	②矩形 無開口	①+②	③I形矩形 有開口	①+② +③	十字形	ト形	T形	L形 -閉	L形 -開
曲げ降伏が 発生したときの 部材角①	試験体数																38					
	$\mu$																0.89					
	$\sigma$																0.38					
	$\sigma / \mu$																0.43					
	$\mu + \sigma / 2$																1.08					
	$\mu - \sigma / 2$																0.70					
曲げ降伏が 発生したときの 部材角②	試験体数																40					
	$\mu$																1.52					
	$\sigma$																0.48					
	$\sigma / \mu$																0.31					
	$\mu + \sigma / 2$																1.76					
	$\mu - \sigma / 2$																1.28					
せん断 終局強度に 到達したときの 部材角①	試験体数											64	14	78	55	133						
	$\mu$											2.22	2.23	2.22	1.33	1.85						
	$\sigma$											0.96	0.90	0.94	0.86	1.01						
	$\sigma / \mu$											0.43	0.40	0.42	0.65	0.54						
	$\mu + \sigma / 2$											2.70	2.68	2.69	1.76	2.36						
	$\mu - \sigma / 2$											1.74	1.78	1.75	0.90	1.35						
せん断 終局強度に 到達したときの 部材角②	試験体数											64	14	78	55	133						
	$\mu$											1.48	1.82	1.54	1.51	1.53						
	$\sigma$											0.53	0.76	0.59	0.50	0.55						
	$\sigma / \mu$											0.36	0.42	0.38	0.33	0.36						
	$\mu + \sigma / 2$											1.75	2.20	1.83	1.76	1.81						
	$\mu - \sigma / 2$											1.21	1.44	1.25	1.26	1.25						
せん断 終局強度に 到達したときの 部材角③	試験体数											66	16	82	61	143						
	$\mu$											2.13	3.27	2.35	2.36	2.36						
	$\sigma$											0.83	1.62	1.12	0.86	1.01						
	$\sigma / \mu$											0.39	0.49	0.47	0.36	0.43						
	$\mu + \sigma / 2$											2.55	4.08	2.91	2.79	2.87						
	$\mu - \sigma / 2$											1.71	2.46	1.79	1.93	1.85						

\* 参考として、平均値  $\mu$  が 0.80~1.20 の範囲にあるものは黄色で、変動係数  $\sigma / \mu$  が 0.20 以下のものは緑色で表を塗りつぶしている。

表 10.1.1 実験値と計算値の比較 平均値  $\mu$ ，標準偏差  $\sigma$ ，変動係数  $\sigma / \mu$ （実験値/計算値）

項目	梁				柱		腰壁・垂壁付梁		袖壁付き柱				耐力壁					接合部						
	曲げ降伏 先行型	せん断 破壊型	付着 破壊型	全体	曲げ降伏 先行型	せん断 破壊型	スリット 無し	スリット あり	両側 均等	片側(袖 壁圧縮)	片側(袖 壁引張)	全体	① I形 無開口	② 矩形 無開口	①+②	③ I形, 矩形 有開口	①+② +③	十字形	ト形	T形	L形 -閉	L形 -開		
限界変形角①	試験体数						21	8				26					73							
	$\mu$						1.12	0.99				1.21					1.31							
	$\sigma$						0.27	0.24				0.59					1.32							
	$\sigma / \mu$						0.24	0.24				0.49					1.01							
	$\mu + \sigma / 2$						1.25	1.11				1.51					1.97							
	$\mu - \sigma / 2$						0.99	0.87				0.91					0.65							
限界変形角②	試験体数																63							
	$\mu$																2.95							
	$\sigma$																1.91							
	$\sigma / \mu$																0.65							
	$\mu + \sigma / 2$																3.91							
	$\mu - \sigma / 2$																2.00							

\* 参考として，平均値  $\mu$  が 0.80～1.20 の範囲にあるものは黄色で，変動係数  $\sigma / \mu$  が 0.20 以下のものは緑色で欄を塗りつぶしている。

表 10.1.1 実験値と計算値の比較 平均値  $\mu$ ，標準偏差  $\sigma$ ，変動係数  $\sigma / \mu$ （実験値/計算値）

項目	梁				柱		腰壁・垂壁付梁		袖壁付き柱				耐力壁					接合部					
	曲げ降伏 先行型	せん断 破壊型	付着 破壊型	全体	曲げ降伏 先行型	せん断 破壊型	スリット 無し	スリット あり	両側 均等	片側(袖 壁圧縮)	片側(袖 壁引張)	全体	①I形 無開口	②矩形 無開口	①+②	③I形矩形 有開口	①+② +③	十字形	ト形	T形	L形 -閉	L形 -開	
曲げ ひび割れ強度①	試験体数	49	23	7	79	243	90	41	11			143	76	48	124	23	147						
	$\mu$	1.04	0.93	1.72	1.07	1.16	1.43	0.91	0.92			0.93	0.83	0.96	0.88	0.65	0.85						
	$\sigma$	0.43	0.57	0.95	0.58	0.39	1.01	0.31	0.31			0.39	0.35	0.48	0.41	0.27	0.40						
	$\sigma / \mu$	0.41	0.61	0.55	0.54	0.33	0.71	0.34	0.34			0.42	0.43	0.50	0.46	0.41	0.47						
	$\mu + \sigma / 2$	1.26	1.22	2.19	1.36	1.35	1.94	1.06	1.08			1.13	1.01	1.20	1.09	0.78	1.05						
	$\mu - \sigma / 2$	0.83	0.65	1.25	0.78	0.97	0.92	0.76	0.76			0.73	0.66	0.72	0.68	0.52	0.65						
曲げ ひび割れ強度②	試験体数												76	48	124								
	$\mu$												0.93	0.99	0.95								
	$\sigma$												0.42	0.51	0.45								
	$\sigma / \mu$												0.45	0.51	0.48								
	$\mu + \sigma / 2$												1.14	1.25	1.18								
	$\mu - \sigma / 2$												0.72	0.74	0.73								
せん断 ひび割れ強度①	試験体数	59	44	21	124	223	117	42				138					208	162	66	5	17	18	
	$\mu$	1.12	1.05	0.85	1.05	1.31	1.41	1.35				1.42					0.92	0.92	1.07	1.22	1.15	0.97	
	$\sigma$	0.51	0.47	0.13	0.47	0.41	0.28	0.41				0.56					0.37	0.30	0.31	0.17	0.32	0.20	
	$\sigma / \mu$	0.46	0.45	0.15	0.44	0.31	0.20	0.30				0.40					0.40	0.33	0.29	0.14	0.28	0.21	
	$\mu + \sigma / 2$	1.38	1.29	0.92	1.29	1.51	1.55	1.55				1.70					1.10	1.07	1.23	1.31	1.31	1.07	
	$\mu - \sigma / 2$	0.87	0.81	0.79	0.82	1.11	1.27	1.15				1.14					0.74	0.77	0.92	1.14	0.99	0.87	
せん断 ひび割れ強度②	試験体数	59	44	21	124	223	117										208	162	66	5	17	18	
	$\mu$	0.94	0.94	0.70	0.90	1.58	2.18										0.74	0.81	0.91	1.04	0.98	0.83	
	$\sigma$	0.50	0.58	0.11	0.50	0.50	0.37										0.44	0.26	0.26	0.14	0.27	0.17	
	$\sigma / \mu$	0.53	0.62	0.15	0.55	0.32	0.17										0.60	0.32	0.29	0.13	0.28	0.20	
	$\mu + \sigma / 2$	1.18	1.22	0.76	1.14	1.83	2.37										0.96	0.94	1.04	1.11	1.12	0.92	
	$\mu - \sigma / 2$	0.69	0.65	0.65	0.65	1.33	1.99										0.52	0.68	0.78	0.97	0.85	0.75	
せん断 ひび割れ強度③	試験体数																208						
	$\mu$																1.56						
	$\sigma$																1.12						
	$\sigma / \mu$																0.72						
	$\mu + \sigma / 2$																2.12						
	$\mu - \sigma / 2$																1.00						
せん断 ひび割れ強度④	試験体数																208						
	$\mu$																0.98						
	$\sigma$																0.39						
	$\sigma / \mu$																0.40						
	$\mu + \sigma / 2$																1.18						
	$\mu - \sigma / 2$																0.78						

\* 参考として、平均値  $\mu$  が 0.80~1.20 の範囲にあるものは黄色で、変動係数  $\sigma / \mu$  が 0.20 以下のものは緑色で欄を塗りつぶしている。

表 10.1.1 実験値と計算値の比較 平均値  $\mu$ ，標準偏差  $\sigma$ ，変動係数  $\sigma / \mu$ （実験値/計算値）

項目	梁				柱		腰壁・垂壁付梁		袖壁付き柱			耐力壁					接合部						
	曲げ降伏 先行型	せん断 破壊型	付着 破壊型	全体	曲げ降伏 先行型	せん断 破壊型	スリット 無し	スリット あり	両側 均等	片側(袖 壁圧縮)	片側(袖 壁引張)	全体	①I形 無開口	② 矩形 無開口	①+②	③I形 矩形 有開口	①+② +③	十字形	ト形	T形	L形 -閉	L形 -開	
曲げ降伏強度	試験体数																53						
	$\mu$																0.91						
	$\sigma$																0.14						
	$\sigma / \mu$																0.15						
	$\mu + \sigma / 2$																0.98						
	$\mu - \sigma / 2$																0.84						
曲げ 終局強度①	試験体数	169			556		41	11	109	13	16	122	131	55	186	35	221	102	17		5	14	
	$\mu$	1.10			1.20		1.21	1.17	1.29	1.97	5.27	1.37	1.08	1.08	1.08	0.82	1.04	1.02	0.77		1.11	0.76	
	$\sigma$	0.11			0.30		0.15	0.05	0.34	0.56	3.67	0.42	0.16	0.11	0.15	0.33	0.21	0.15	0.18		0.36	0.21	
	$\sigma / \mu$	0.10			0.25		0.12	0.05	0.27	0.28	0.70	0.31	0.15	0.10	0.14	0.41	0.20	0.15	0.24		0.32	0.28	
	$\mu + \sigma / 2$	1.15			1.35		1.28	1.20	1.46	2.25	7.11	1.58	1.16	1.13	1.15	0.99	1.14	1.10	0.86		1.29	0.87	
	$\mu - \sigma / 2$	1.04			1.05		1.14	1.14	1.12	1.69	3.43	1.16	1.00	1.02	1.00	0.66	0.94	0.94	0.68		0.93	0.65	
曲げ 終局強度②	試験体数						41					138	131	55	186	35	221						
	$\mu$						1.00					1.11	1.09	1.00	1.06	0.84	1.03						
	$\sigma$						0.11					0.20	0.16	0.12	0.16	0.35	0.22						
	$\sigma / \mu$						0.11					0.18	0.15	0.12	0.15	0.42	0.21						
	$\mu + \sigma / 2$						1.05					1.21	1.17	1.06	1.14	1.02	1.14						
	$\mu - \sigma / 2$						0.95					1.01	1.01	0.94	0.98	0.66	0.92						
曲げ 終局強度③	試験体数						41					138	83	44	127	35	162						
	$\mu$						0.64					1.07	1.04	1.12	1.07	0.76	1.00						
	$\sigma$						0.18					0.19	0.14	0.12	0.14	0.31	0.22						
	$\sigma / \mu$						0.29					0.18	0.13	0.11	0.13	0.40	0.22						
	$\mu + \sigma / 2$						0.73					1.16	1.11	1.18	1.14	0.92	1.11						
	$\mu - \sigma / 2$						0.55					0.98	0.97	1.06	1.00	0.61	0.89						
曲げ 終局強度④	試験体数						41																
	$\mu$						0.94																
	$\sigma$						0.15																
	$\sigma / \mu$						0.16																
	$\mu + \sigma / 2$						1.02																
	$\mu - \sigma / 2$						0.86																

\* 参考として、平均値  $\mu$  が 0.80~1.20 の範囲にあるものは黄色で、変動係数  $\sigma / \mu$  が 0.20 以下のものは緑色で欄を塗りつぶしている。



表 10.1.1 実験値と計算値の比較 平均値  $\mu$  , 標準偏差  $\sigma$  , 変動係数  $\sigma / \mu$  (実験値/計算値)

項目	梁				柱		腰壁・垂壁付梁		袖壁付き柱				耐力壁					接合部				
	曲げ降伏 先行型	せん断 破壊型	付着 破壊型	全体	曲げ降伏 先行型	せん断 破壊型	スリット 無し	スリット あり	両側 均等	片側(袖 壁圧縮)	片側(袖 壁引張)	全体	① I形 無開口	② 矩形 無開口	①+②	③ I形 矩形 有開口	①+② +③	十字形	ト形	T形	L形 -閉	L形 -開
せん断 終局強度①	試験体数		88	48			299	7				99	118	55	173	118	291	54	24	2	15	11
	$\mu$		1.62	1.51			1.57	1.05				1.51	1.77	1.47	1.67	1.86	1.75	1.23	1.24	0.99	1.50	1.01
	$\sigma$		0.37	0.32			0.26	0.19				0.45	0.40	0.33	0.40	0.38	0.40	0.22	0.33	0.09	0.33	0.12
	$\sigma / \mu$		0.23	0.21			0.16	0.18				0.30	0.22	0.22	0.24	0.20	0.23	0.18	0.27	0.09	0.22	0.12
	$\mu + \sigma / 2$		1.81	1.67			1.70	1.15				1.74	1.97	1.64	1.87	2.05	1.95	1.34	1.41	1.03	1.67	1.07
	$\mu - \sigma / 2$		1.44	1.35			1.44	0.95				1.28	1.57	1.31	1.47	1.67	1.55	1.12	1.07	0.95	1.34	0.95
せん断 終局強度②	試験体数		88	48			299	7				99	118	55	173	118	291					
	$\mu$		1.41	1.34			1.38	0.97				1.22	1.41	1.20	1.34	1.49	1.40					
	$\sigma$		0.34	0.28			0.23	0.12				0.41	0.32	0.26	0.32	0.32	0.33					
	$\sigma / \mu$		0.24	0.21			0.17	0.13				0.34	0.23	0.22	0.24	0.21	0.23					
	$\mu + \sigma / 2$		1.58	1.48			1.50	1.03				1.43	1.57	1.33	1.50	1.65	1.57					
	$\mu - \sigma / 2$		1.24	1.20			1.26	0.91				1.01	1.25	1.07	1.18	1.33	1.24					
せん断 終局強度③	試験体数						285	7				99	92	55	147	113	260					
	$\mu$						1.45	0.95				1.28	1.37	1.16	1.29	1.50	1.38					
	$\sigma$						0.36	0.16				0.42	0.26	0.44	0.36	0.29	0.34					
	$\sigma / \mu$						0.25	0.17				0.33	0.19	0.38	0.27	0.20	0.25					
	$\mu + \sigma / 2$						1.63	1.03				1.49	1.50	1.38	1.47	1.65	1.55					
	$\mu - \sigma / 2$						1.27	0.87				1.07	1.24	0.94	1.11	1.36	1.21					
せん断 終局強度④	試験体数							7				99	92	55	147	113	260					
	$\mu$							1.02				1.22	1.20	1.06	1.15	1.34	1.23					
	$\sigma$							0.13				0.41	0.23	0.42	0.32	0.26	0.31					
	$\sigma / \mu$							0.13				0.34	0.19	0.39	0.28	0.20	0.25					
	$\mu + \sigma / 2$							1.08				1.43	1.31	1.27	1.31	1.47	1.38					
	$\mu - \sigma / 2$							0.96				1.01	1.09	0.85	0.99	1.21	1.08					

\* 参考として、平均値  $\mu$  が 0.80~1.20 の範囲にあるものは黄色で、変動係数  $\sigma / \mu$  が 0.20 以下のものは緑色で欄を塗りつぶしている。

表 10.1.1 実験値と計算値の比較 平均値  $\mu$ ，標準偏差  $\sigma$ ，変動係数  $\sigma / \mu$ （実験値/計算値）

項目	梁				柱		腰壁・垂壁付梁		袖壁付き柱				耐力壁					接合部					
	曲げ降伏 先行型	せん断 破壊型	付着 破壊型	全体	曲げ降伏 先行型	せん断 破壊型	スリット 無し	スリット あり	両側 均等	片側(袖 壁圧縮)	片側(袖 壁引張)	全体	①I形 無開口	②矩形 無開口	①+②	③I形矩形 有開口	①+② +③	十字形	ト形	T形	L形 -閉	L形 -開	
付着強度①	試験体数		48																				
	$\mu$		2.19																				
	$\sigma$		0.76																				
	$\sigma / \mu$		0.35																				
	$\mu + \sigma / 2$		2.57																				
	$\mu - \sigma / 2$		1.80																				
付着強度②	試験体数		7																				
	$\mu$		1.81																				
	$\sigma$		0.40																				
	$\sigma / \mu$		0.22																				
	$\mu + \sigma / 2$		2.01																				
	$\mu - \sigma / 2$		1.61																				
付着強度③	試験体数		48																				
	$\mu$		1.78																				
	$\sigma$		0.69																				
	$\sigma / \mu$		0.39																				
	$\mu + \sigma / 2$		2.12																				
	$\mu - \sigma / 2$		1.43																				

\* 参考として，平均値  $\mu$  が 0.80～1.20 の範囲にあるものは黄色で，変動係数  $\sigma / \mu$  が 0.20 以下のものは緑色で欄を塗りつぶしている。

## 10.2 実験データベースの取り扱いにおける注意点

10.1 で示した各評価式の精度は、今回構築したデータベースに収集されている各試験体の特性に依存するものであり、検討に必要なデータが不足しているものや、実験変数のパラメータに偏りがあるもの、特別な目的で製作された試験体等に関しては、取り扱いに注意が必要である。以下に、各部材ごとに、今回構築した実験データベースの特徴について説明する。

### 【梁部材】

初期曲げひび割れや初期せん断ひび割れを生じた部材角は、視認の遅れや加力前に発生するひび割れなどの影響を受けるため、ばらつきが大きく、曲げひび割れ強度、せん断ひび割れ強度、弾性剛性の評価精度に影響を与えている。付着強度の計算では、かぶり厚さや鉄筋間隔など、鉄筋配置の情報が必要だが、論文に記載されていない場合が多かった。論文の断面図には主筋位置の寸法を記載することが望まれる。せん断破壊させる試験体では、曲げ降伏を避けるために主筋強度を高くしたり主筋量を増やしたりするが、主筋を多段配筋にするとせん断強度余裕度が高くなる傾向が見られたため、せん断強度式の評価精度を参照するときに注意が必要である。カットオフ筋を有する試験体の実験資料は近年増えているが、1段配筋で一部の鉄筋がカットオフされた試験体は依然として少ない。

### 【柱部材】

実験データは、さらなる吟味が必要であると考えられる。特に試験方法などによっては、片側の破壊によって、実験データの荷重-変形関係が片側の破壊のみでデータが支配的になってしまう場合があるため、曲げ降伏後の塑性変形を検討するデータとしては、平行機構を有するダブルカーバチャータイプの構造実験が必須となると考えられる。弾性剛性(実験値)は、試験体の内法寸法を用いて算定した場合の約0.7倍相当であった。これは、鉄筋コンクリート造柱部材自体(特に、主筋)が連続した構造物であるために、接合部領域の特性が実験においても含まれているためと考えられる。このような性状に対して、これまで剛域入り込みの概念を適用している。今後もこのような定義によって、構造設計時に架構全体の剛性を適切に評価する必要がある。

### 【腰壁・垂れ壁付き梁部材】

本検討で使用した腰壁・垂れ壁付き梁試験体は44体であり、他の部材と比べ実験データが少ない。特に構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁のデータは8体と非常に少なく、今後実験による蓄積が必要である。本検討では、正負繰り返し載荷をした試験体のうち、正負の実験データがある場合は、それぞれの値で検討を行った。また、せん断破壊型試験体の実験データが特に少なかった。せん断破壊は脆性的な破壊であり、実験によるデータの蓄積が必要不可欠であり、早急に実験を実施する必要があると考えられる。

今回収集した論文では、論文中に記載されている情報が不足しているケースが多かった。紙面の都合などが原因で断面情報が不十分であった。特に壁筋などは鉄筋の位置の記述がないことが多い。実験結果においては最大強度や鉄筋降伏時などの荷重について、紙面上のアナログデータとしては記述があるものの、明確な数字として記述されていない場合が多い。また、腰壁・垂れ壁付き梁では、最大耐力だけでなく壁筋や梁主筋の降伏の有無やその時の変形角と強度が重要であり、弾性剛性、ひび割れ強度、終局変形角などの情報と共に、論文中に記載することが必要で

ある。

### 【袖壁付き柱部材】

本検討で使用した袖壁付き柱の試験体数は計 241 体である。他の部材に比較して実験データは極めて少ない状況であり、さらなるデータの蓄積が望まれる。また、その断面形状の内訳を見ると均等袖壁付き柱：180 体、不均等袖壁付き柱：2 体、無開口の片側袖壁付き柱：43 体、有開口袖壁付き柱：16 体である。つまり、実験のそのほとんどが両側均等袖壁付き柱の断面で行われていることを意味する。実務設計では片側袖壁付き柱および不均等袖壁付き柱など様々な断面形状に対応する必要があるが、その情報は極めて少ない状況である。今後、片側袖壁付き柱および不均等袖壁付き柱の実験が数多く実施され、その構造性能が示されることを切に期待する。

今回の検討では一切触れていないが袖壁付き柱の変形性能を向上させるためには、袖壁圧縮端部のコンクリートを鉄筋により拘束することが極めて有効であることが多くの論文で示されている。論文中に袖壁端部拘束筋の配筋仕様並びに詳細寸法、拘束筋により拘束される部分の寸法並びに面積、被り寸法等を詳細に示して頂くと、今後、袖壁付き柱部材の限界変形角を検討・評価する上で有用なデータになると思われる。また、多くの論文では最大耐力の記載はあるものの、弾性剛性、ひび割れ強度、限界変形角といった設計上必要な情報が不足している状況であり論文中に記載されることが望まれる。

### 【耐力壁部材】

矩形断面の試験体では、壁端が帯筋によって拘束されたものや、開口が設けられたものが少なかった。破壊形式に関しては、曲げ型（曲げ降伏後のせん断破壊含む）とせん断型の試験体がほぼ半数ずつと偏りは見られないが、開口を設けた試験体に限れば、せん断型の試験体が多く、曲げ型の試験体が少なかった。高強度鉄筋を側柱主筋や曲げ補強筋に利用した試験体の 90%以上がせん断破壊型であり、せん断破壊した試験体の約 20%を占めていた。開口を設けた試験体の等価開口周比の平均値は、RC 規準において耐力壁として取り扱う際の目安となる 0.4 とほぼ等しく、一般的には耐力壁として取り扱われることがあまりないような大開口や複数の開口を有する試験体が半数を占めていた。側柱主筋やせん断補強筋（壁端拘束域の曲げ補強筋や横拘束筋）の配筋位置が不明なため、曲げ終局強度やせん断終局強度に関して詳細な検証を行うことができない試験体が全体の 2 割程度を占めていた。また、開口を有する試験体では、開口補強筋がせん断終局強度等のせん断挙動に影響を及ぼすと考えられるが、開口補強筋の配筋位置が不明な試験体も多数見られた。

### 【柱梁接合部】

十字形、ト形の試験体に比べると T 形、L 形の試験体の数は少なかった。また、T 形、L 形の試験体では主筋を折り曲げ定着した試験体の数が少なく、機械式定着を用いていない試験体は T 形試験体では全 81 体中 8 体（うち主筋降伏前の接合部破壊は 2 体）、L 形試験体では全 150 体中 44 体（うち主筋降伏前の接合部破壊は 15 体）のみであった。また、材料強度のバランスが実構造物とは異なり著しく悪いものも見られ、さらに柱梁曲げ強度比のように試験体のもつ構造特性が実構造物のそれとは異なるものも少なくなかった。そのため、データベースに収集された試験体

データを用いてさまざまな設計因子の影響の検討を行う場合などは注意が必要である。

文献には、試験体の諸元、実験結果とも十分に記載されていない例も多かった。特に接合部せん断力の算定や柱や梁の強度算定に不可欠な柱、梁の鉄筋位置の情報が欠けている文献が比較的多かった。また、加力における試験体端部の拘束条件、ジャッキ等の制御方法などが十分に記述されていないものも多く、これらは実験時に接合部に作用するモーメントやせん断力が同定できないため本研究では検討対象から除外した。さらに、実験結果については破壊モードの判別に不可欠な主筋の降伏の有無が明記されていない文献もある。また、実験結果のうちひび割れ発生時や主筋降伏時の荷重や変形の記載がない文献も多く、それらはひび割れ強度の検証等に用いることができなかった。これらの情報は、各文献における実験の目的とは直接関係ない数値であったとしても、実験結果に関する基本情報として記載されることが望まれる。

### 【架構】

大半の試験体が縮尺 50%以下であった。その一方で、大規模な実験施設で実施された実験試験体や、実建物の一部を切り出した架構試験体などの実大試験体が 12 体存在した。層数については、1 層の試験体が 141 体と最多で全体の半分弱を占めていた。5 層を超えるような多層の試験体や実大試験体には、壁付き架構試験体 (FW) が比較的多かった。桁行方向のスパン数は、1 体を除き 3 以下で、1 スパンの試験体が 44%を占めた。また、梁間方向にスパンを有する立体架構は約 2 割で、最大で 2 スパンであった。

コンクリート実圧縮強度の記載の無い試験体が 13%、柱主筋および柱帯筋の降伏強度について記載が無い試験体は約 1 割、梁主筋および梁肋筋の降伏強度について記載が無い試験体は約 1/4 存在した。スパン長、階高、柱寸法および柱配筋については、ほとんどの試験体で記載があったが、柱の曲げ降伏やせん断破壊による層崩壊形を想定した試験体で、梁の寸法や配筋が記載されていないものが若干数存在した。加力形式、加力方法および載荷履歴については、全ての試験体で記載があった。一方、軸力の載荷方法に関しては、具体的な記載が無い試験体が若干存在した。また、最大耐力の記載が無かった試験体が約 4 割存在した。

### 10.3 今後の課題

#### (1) 建築研究所で実施すべき今後の課題

実務設計の観点においては、将来行われるであろう部材の実験研究の結果を定期的に収集し、現在の構造設計で用いられている評価式の精度を明確にできれば構造設計者が安全性を確保する際に有用な情報になる。

研究の観点においては、変形情報、剛性情報、履歴エネルギー吸収に関する情報が明記されていることは極めて少なく、論文中のグラフから、その情報をデジタルに変換して得ることも検討する（例えば、アナログからデジタルに変換する手法を検討するなど）必要がある。関連して限界耐力計算においては、部材の変形性能など、安全限界時変形の評価が必要となるが、これらの評価式は技術基準解説書には記載されていないため、部分的に提案式のある部材のみ検討対象とした。今後は、変形性能に関する評価精度を検討する必要がある。さらには、実験データベースに収集された各因子の偏りやばらつきを統計的に評価できるような手法についても検討することが望ましい。

#### (2) 合理的な設計手法の提案のための今後の課題

現在は設計式の評価精度を直接考慮した設計体系ではないが、将来的に包括的なデータが整備され、各設計式の評価精度が明確になれば、各部材の評価式に応じて安全余裕度を適切に設定できる設計体系を構築することができる。そのために現時点においては、現在収集したデータベースの粗密を分析し、設計において不足している部材についての情報収集を行うことが必要である。また精度の高いデータベースの構築の為には、実験論文に記載される内容に的確に記載される必要がある。今回、本資料で取り纏める過程で、部材毎の課題を以下に挙げる。

#### 【梁部材】

今後の設計体系が変形を陽に評価する手法に移行する傾向があるのであれば、せん断強度式としては、経験式による荒川式からトラス・アーチ理論式への移行を検討する必要があると考えられる。付着設計については、付着強度の評価式に加え、実情に合致した設計用付着応力度の設定を合理的に定める必要があると考えられる。

今後、有用な実験データを蓄積するためには、変形性能までを評価する場合には、片側の破壊によって、実験データの荷重-変形関係が支配的にならない平行機構を有するダブルカーバチャータイプの構造実験が必須となると考えられる。

実施設計を前提とした研究をさらに進めるためには、短期許容応力度レベルなどの構造設計について、各種のせん断補強筋によって取り扱いが異なっているなど、構造設計者が考える小さい変形（部材角 1/100 から 1/50rad）レベルの構造性能に着目した研究が望まれると考えられる。近年は、限界耐力計算法などの設計法の整備も進められており、データベースを作成するにあたって荷重変形関係などのデータのデジタル化も合わせて進める必要があると考えられる。

試験体スケールをある程度確保し、制御できる荷重レベルでの初期変位の剛性を計測できる実験手法の確立が望まれる。今後、標準試験方法の提示など、精度のよい構造実験に関する情報を公示し、有用な実験データを蓄積することが望まれる。また、変形性能を議論する場合には、厳密には加力サイクルの影響も考えられることから、標準的な加力サイクルの提示を、官民学で協

力して定めることも重要であると考えられる。

### 【柱部材】

梁部材と同様に柱部材についても、せん断強度式としては曲げ降伏後の変形性能についても検討が可能なトラス・アーチ理論式への移行を検討する必要があると考えられる。付着設計については、構造設計者が検討する合理的な設計用付着応力度の設定が必要であると考えられる。これは、近年は構造解析技術およびソフトの開発が進展しており、構造設計者は静的増分解析結果から予め極大地震時における曲げモーメント分布を把握することが可能である。そのため、柱部材の設計用付着応力度を、一義的に階高中央位置を反曲点として求めるのではなく、実情に合わせた設計用付着応力度の設計を可能とする合理的な設計手法の確立が必要であると考えられる。過去に経験した RC 造建物の甚大な地震被害要因の一つに、高軸力が作用することで柱部材が破壊し鉛直支持能力を喪失してしまう破壊モードに関する設計法を明確に示していく必要があると考えられる。

梁部材と同様であるが、今後、様々な目的によって実施されると予想される構造実験に対して、標準的で理想的な構造実験例を提示し、日本の研究レベルの底上げを行うことができないか。また、研究者から共有データの提出を行うことで何らかのインセンティブを享受しながら、複数の研究者または任命された研究者によって精度のいいデータベースの構築ができないか、今後議論を行う必要があると考えられる。

### 【腰壁・垂れ壁付き梁部材】

本研究で検討を行なった構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁および腰壁・垂れ壁付き梁の評価式では、矩形の梁断面の評価式を壁付の梁に準用しているものが多く精度が良いとは言えなかった。重要な耐震性能項目である、腰壁・垂れ壁付き梁の曲げ終局強度や降伏点剛性低下率の精度はまだ十分とはいえない。これは、実験による腰壁・垂れ壁付き梁の履歴性状を三折れ線でモデル化する際の手法にも依存するため、今後は部材のモデル化も含めた総合的な評価が必要と考えられる。

### 【袖壁付き柱部材】

袖壁付き柱の変形性能評価について言及すれば、現在、曲げ理論の解釈に基づいた合理的な設計法の開発が様々な機関で実施、検討され始めている。今後は、それらを発展させ部材降伏時の変形や限界変形角の精度を高めることが期待される。とくに、限界変形角は、袖壁圧縮端部の拘束状態に依存するため、そのことを考慮した設計法の開発が望まれる。一方、袖壁付き柱は、独立柱に比べて剛性が高く、大きなせん断力を負担できる特徴を有し、それらを有効に利用する設計法も考えられる。しかし、その部材が大きく損傷する可能性を秘めていることを忘れてはならない。以上より、袖壁付き柱を有効かつ安全に設計するためには、ある耐力、変形時にどのような損傷になるかを把握し、推定する必要があると考えられる。例えば、袖壁付き柱のひび割れ幅の推定方法の開発やせん断ひび割れ発生荷重の正確な推定手法の開発も必要と考えられる。

### 【耐力壁部材】

耐力壁部材の復元力特性には、3本柱モデル（壁谷澤モデル）が使われるのが一般的である。今回の検討では、試験体を高さ方向に細かく分割し、分割された各断面に作用するモーメントに対応する曲率を積分する形で、曲げ変形を計算したため、曲率の分布など曲げの復元力特性に関する設定が異なっている。今後は3本柱モデルと実験結果との対応の確認も必要である。また、変形に関しては、せん断破壊時の変形角を計算値が過小評価する傾向が見られた。その一因として、せん断破壊した試験体の最大耐力が、いずれのせん断終局強度式を用いた場合にも過小評価されたことが挙げられる。せん断終局強度を低めに見積もること自体は安全側の考え方であり、問題ないように考えられるが、その結果、せん断破壊する試験体の変形性能が実験結果と大きく乖離しているようであれば何らかの対応が必要になると考えられる。

また、X形配筋とした試験体や二方向水平载荷の試験体など、今回、検討を行わなかった試験体についても、構造性能の評価方法を確認しておく必要がある。

### 【柱梁接合部】

本調査での精度検証のほとんどは直交梁やスラブのない平面試験体を対象としたものであり、より実構造物に近い直交梁やスラブを有する試験体についての検討が必要である。また、これらは試験体数自体も少ないため、実験結果の蓄積も必要といえる。さらに、本研究では2方向加力を行った場合については対象外としているが、2方向加力された場合については評価方法の確立も含め今後の課題である。

柱梁接合部の復元力特性に関しては評価方法の提案も含めて研究は十分とはいえない。また、復元力特性の検証には複雑な柱梁接合部の変形を詳細に測定する必要があり、測定方法の共有化と実験データの蓄積も今後の課題である。



## 謝辞

本研究の実施にあたり、多くの研究者による貴重な実験データを引用させていただいた。また、以下にあげる国土交通省建築基準整備事業の事業者からは測定データの電子データを含む詳細な実験データを提供していただいた。ここに記して厚く謝意を表します。

- ・平成 20 年度 課題 6：鉄筋コンクリート造の柱はり接合部のせん断破壊に関する実験（事業主体：東京大学）
- ・平成 20～22 年度 課題 7：鉄筋コンクリート造の変断面部材の構造特性評価に関する実験（事業主体：東京大学，横浜国立大学，福井大学）
- ・平成 20～21 年度 課題 8：開口の数や位置を考慮した鉄筋コンクリート造の耐力壁の強度・剛性評価方法に関する実験・解析（事業主体：大阪大学，豊橋技術科学大学，京都大学，竹中工務店）
- ・平成 20～21 年度 課題 9：鉄筋コンクリート造の耐力壁周辺架構の条件設定に関する実験（事業主体：名古屋大学，名古屋工業大学，豊橋技術科学大学，矢作建設工業）
- ・平成 21 年度 課題 6：鉄筋コンクリート造の各種柱はり接合部の耐力評価に関する実験（事業主体：東京大学，大林組）
- ・平成 22～24 年度 課題 27-1：長周期地震動に対する鉄筋コンクリート造建築物の安全性検証方法に関する検討（事業主体：大林組，鹿島建設，小堀研究所，清水建設，大成建設，竹中工務店）
- ・平成 22～23 年度 課題 29：鉄筋コンクリート造の壁はり接合部等の耐力評価に関する実験（事業主体：東京大学，大林組）
- ・平成 22～23 年度 課題 30：有開口耐力壁の変形能力の評価等に関する実験・解析（事業主体：大阪大学，豊橋技術科学大学，京都大学，竹中工務店）
- ・平成 23～24 年度 課題 39：鉄筋コンクリート造連層耐力壁の構造詳細と部材種別に係る基準の整備に資する検討（事業主体：京都大学，東京工業大学，東京大学，名古屋工業大学，大阪大学，豊橋技術科学大学）
- ・平成 28～29 年度 課題 S22：高密配筋を行った鉄筋コンクリート造部材の部材種別の評価に関する検討（事業主体：京都大学，福山大学）