

学校建物生存空間確保

補強計画例

平成 20 年 5 月 30 日

構造品質保証研究所



## 目次

1. 概要	1
2. 生存空間確保補強計画と工事のフロー	3
3. 補強計画例	4
3. 1 生存空間確保補強	4
1) 補強柱の選定と補強量の算定	4
2) 補強工事費の算定	6
3) 補強工事	7
3. 2 Is 値が基準を満たすことを計画する場合	9
1) 補強柱の選定と補強量の算定	9
2) 補強工事費の算定	11
3) 補強工事	12
文献	12

## 1. 概要

本書は、SRF 工法による生存空間確保補強を、学校施設の耐震補強マニュアルに掲載された延べ床面積 4590m<sup>2</sup> の 4 階建ての小学校校舎<sup>1)</sup> について具体的に計画した例である。また、同工法を用いて、構造耐震指標 (Is 値) 等が基準値をクリアする補強を計画した例も掲載している。

生存空間確保補強とは、主要な柱を補強し、万一建物が倒壊した場合にも、建物がパンケーキ状に破壊する<sup>注]</sup>ことを避け、建物の床と天井の間に空間を残すことにより、中に居る人の圧死を防ぎ、脱出、救助を容易にすることを目的とする補強である。補強設計では、補強対象柱を選定し、柱の軸耐力が負担軸力を上回るように補強材の厚さを決める。例題建物については、4 階建ての内、一階、二階の内部の柱 21 本、外部の柱 3 本の計 24 本を補強すればよく、標準的な工事費は、約 540 万円であると試算された。これは、柱一本当たり、約 23 万円、延べ床面積当たり、1180 円/m<sup>2</sup> に相当する。この校舎は、一階に、職員室、保健室等、4 階に、音楽室、理科室、図書室等があり、2 階、3 階及び 4 階の一部に 26 教室を有する。一教室 35 人として、900 人程度の児童が通える規模であるので、生存空間確保の補強費用は、児童一人当たり、6000 円に相当する。生存空間確保の目的に限定すれば、モルタル等の仕上げだけでなく、ボード仕上げの上から補強しても、効果を期待できるので、補強工事費をさらに圧縮することも可能である。

Is 値等が基準値をクリアする補強 (Is 値 0.7 以上、F=1.0 での C<sub>T</sub>S<sub>D</sub> 値で 0.45 以上) についても、SRF 工法により、1 階 36 本、2 階 19 本の計 55 本の柱を補強するのみで可能であり、標準的な工事費は、約 1850 万円である (33 万円/本、4000 円/m<sup>2</sup>)。同マニュアルに掲載された補強例は、壁撤去等による間取りの変更などの工事を含んでいるが、補強部分 (壁増設、ブレース新設及び柱鉄板巻き) のみの標準的な工事費は 5000 万円程度であると推定されるので、SRF 工法による補強は、コスト的にも格段に有利であると言える。ただし、本例は、旧耐震後期の建物で、既存のせん断補強筋量とピッチが現行基準に比べて劣らないこと、Is 値が 0.5 程度はあることなどから、補強材設計厚さが小さくなり、補強工事費が小さく納まっている。既存建物の条件が悪い場合には、SRF 工法の補強材の厚さが 2 倍程度になることもある。しかし、補強工事費に占める補強材の材料費・取り付け工事費の割合は 50%程度であり、仕上げ等の費用は、補強量が増えてもほとんど変わらないので、この場合でも、3000 万円程度でよいと推定される。

SRF 工法は、ポリエステル製のベルト状あるいはシート状の補強材をポリウレタン系の接着剤で部材表面に直接接着する工法で、多くの実験で効果が実証され、(財)日

本建築防災協会から柱・壁の耐震補強工法として技術評価を取得している<sup>2)</sup>。従来工法に比べ、軸力支持能力に優れること、下地の平滑化、面取りを要さないこと、一般工でも短時間で施工できること、安価で工期が短いことなどの特徴があり、既に、学校、庁舎、病院、事務所、マンション等で250件以上の耐震補強工事の実績がある。

阪神大震災で被災した学校の被害調査結果から、窓がらみの短柱と下階壁抜け柱が弱点であると指摘されている<sup>3)</sup>。しかし、これらの短柱<sup>註1)</sup>は、耐震診断基準等において、鉄板巻き、炭素繊維等の補強工法で補強を行っても靱性が向上しないと規定されている。また、軸力比の制限もあり、柱補強だけでは、 $I_s$  値がほとんど向上しない。従って、学校建物に限らず、一般に耐震補強は、壁の増新設、ブレース設置などによる強度型補強が主流になっている。

SRF 工法においては、多数の実験で、短柱、高軸力を受ける柱等においても、靱性と軸耐力が向上することが実証され、建築防災協会の技術評価で設計指針として認められている。さらに、補強によってせん断強度が曲げ強度を上回らない場合（せん断柱）でも、補強量に応じて靱性が向上することも昨年7月の改訂で認められた結果、本例に示すように、従来工法では困難であった窓側の短柱や、下階壁抜けで高軸力を受ける既存の柱を補強することで、強度と靱性を大きく向上させる補強が可能になった。これは、壁・ブレース等を新設する補強に比べ、遙かに省資源、低コストである。

我が国の学校校舎は、耐震性が十分と言えないものが過半数を占めていると言われている。地震発生は切迫しており、何らかの補強を行わなければ、学校施設が倒壊し、児童生徒が生き埋めになる事態を避けられない。本書の方法と考え方がこの対策に役立つことを願うものである。

注] 写真左の窓際の柱のように、内のり長さが柱の横幅（せい）に比べて短い柱を短柱という。写真左の建物は、阪神大震災で一階部分が潰れた。写真右は、トルコのエルジンジャン地震でパンケーキ状に破壊した建物。



2. 生存空間確保補強計画と工事のフロー

学校建物が地震災害を受けた場合に生存空間を確保することを目的とした補強のフローは、図 2-1 に掲げたものになる。まず、学校建物の平面図等から耐震壁と柱の配置、寸法等を特定し、これに応じて、建物が倒壊してもその柱を中心にした空間が確保できるように、①補強対象柱を選定し、補強材の厚さを決定する。これを②設計図書として文書化し、③補強費用を算定し、④補強工事を実施する。SRF 工法は、通常の耐震補強工法として技術評価<sup>2)</sup>を受けているので、最終的に、構造耐震指標 (Is 値) が所要値以上になることを求める場合には、補強材厚さを Is 値補強の要件も満足するように決め、生存空間確保の為に補強を Is 値補強の第 1 段階として計画することもできる。また、学校建物の構造、様式には、いくつかの典型があるので、予め設計資料を準備して、個別の設計作業を簡略化することも可能である。

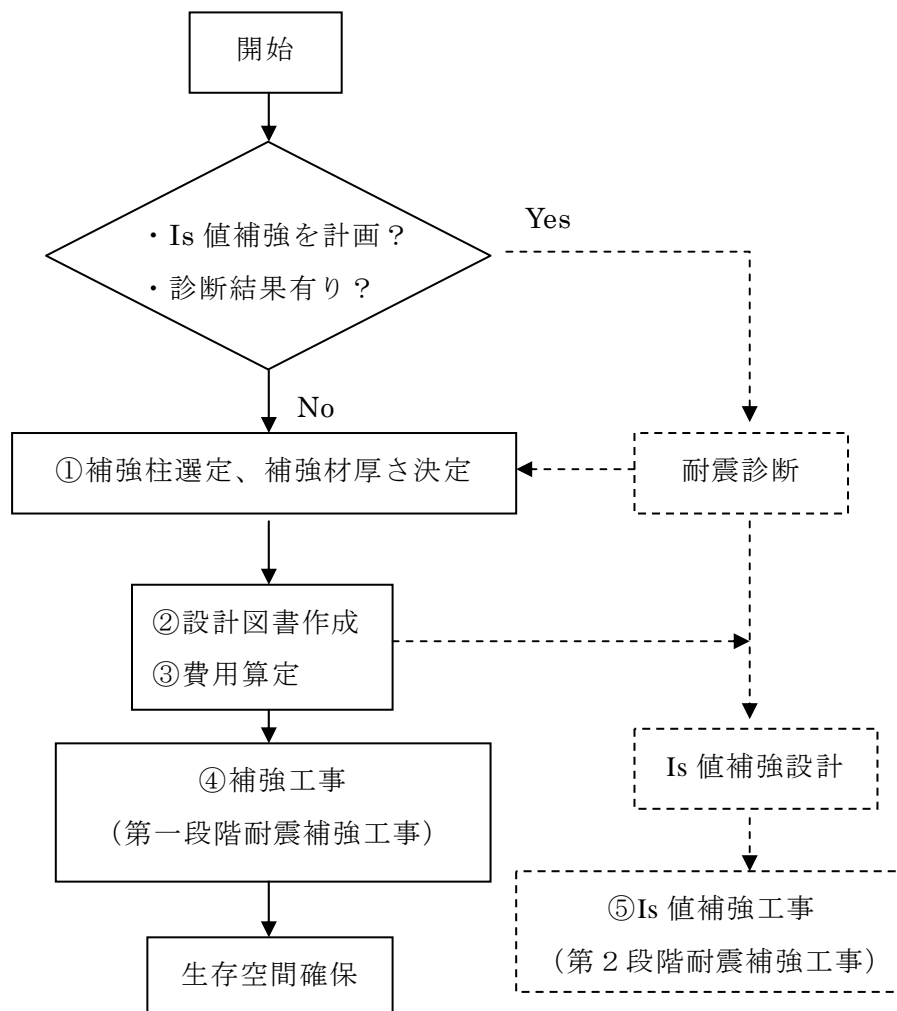


図 2-1 補強計画と工事のフロー

### 3. 補強計画例

学校施設の耐震補強マニュアルの計算例<sup>1)</sup>に対して、生存空間確保補強を計画した例を示す。計算例の建物は、昭和47年から50年に掛けて2期に分けて建設された延べ床面積4590m<sup>2</sup>の4階建ての小学校校舎であり、耐震診断の結果、1、2階の桁行方向で、 $I_s$ 値が0.6を下回り、倒壊の危険性があるとの診断結果となっている。梁間方向については、下階壁抜け柱で軸力比制限を超える柱が存在するものの、これを考慮した場合でも $I_s$ 値は余裕をもって基準値を上回る。せん断補強鉄筋の間隔は、100mmであり、現行基準並みである。

#### 3. 1 生存空間確保補強

##### 1) 補強柱の選定と補強量の算定

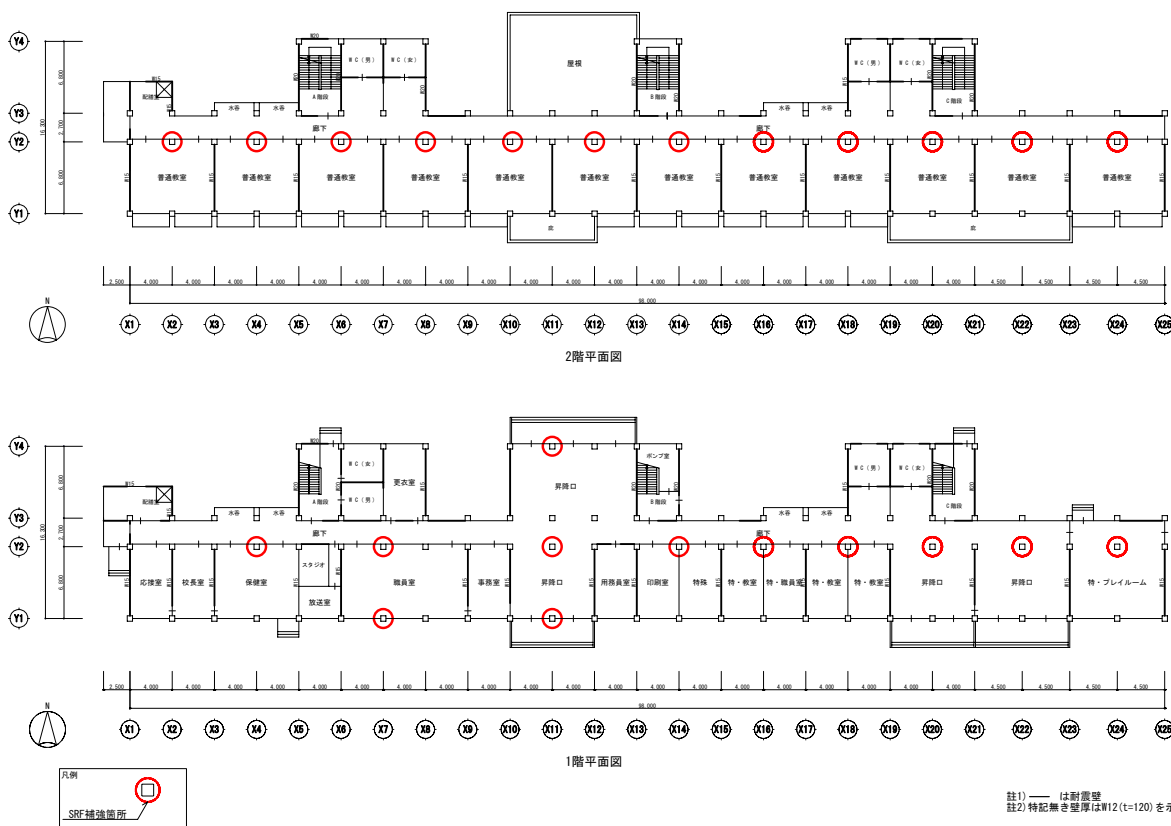
生存空間確保補強では、次の方針と仮定に基づいて補強対象柱を選定する。

- ①建物が倒壊した場合に中に居る人間が圧死を免れ、自力で避難できるように各部屋、及び昇降口周辺に補強柱を選定する。
- ②下階壁抜け柱は原則として補強する。
- ③耐震壁の付いた柱は補強せずとも、空間確保に役立つと仮定する。
- ④5階建て以下の建物については、3階以上は、補強せずとも生存空間確保が可能であると仮定する。
- ⑤仕上げの容易さを考慮し、内部の柱を中心にする。

例題建物に対して、補強対象柱を選定した結果を図3-1に示す。補強対象柱は、一階12本、2階12本の計24本である。各柱の補強範囲は、内のり高さ（梁下から床面まで）で良い。仕上げ工事の難易度を考慮して、内部の柱を中心に選定した結果、外壁等にかからむ柱は、3本である。

補強は、柱の周囲に補強材を巻き付けながら貼り付ける工事であるが、補強材の厚さは、柱の軸耐力が、柱の負担軸力を上回るように決定する。軸耐力の確保は、柱の靱性指標を十分大きくし、軸力支持能力を向上させることをまず検討し、短柱等で困難な場合には、補強材の拘束効果により残存軸耐力を確保する方法を用いて行う<sup>5)</sup>。図3-1付表に補強厚の計算内訳を示す。本例の場合には、既存柱のせん断補強筋間隔が100mmと狭く、鉄筋量も中程度に入っているため、補強厚さは、最少厚さ2.5mmで良いとの結果となった。

生存空間確保目的に限定すれば、既存のボード等の仕上げの上から補強材を巻き付けても、効果を期待できる。



付表 補強材厚さと補強前後の軸圧壊危険度指標

階	柱No.		負担面積		負担荷重		柱				補強前			補強後		
											靱性指標	軸耐力	危険度指標	補強厚さ	靱性指標	軸耐力
	X	Y	S[m <sup>2</sup> ]	N <sub>L</sub> [kN]	b[mm]	D[mm]	F <sub>c</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	p <sub>w</sub>	F	N <sub>u</sub> [kN]	N <sub>r</sub>	t[mm]	F	N <sub>u</sub> [kN]	N <sub>r</sub>	
1	7	1	20.4	979.2	500	550	20.6	0.25%	2.04	1131.9	0.85	2.5	2.81	1265.0	0.76	
1	11	1	13.6	652.8	500	550	20.6	0.25%	3.04	1697.9	0.38	2.5	3.19	5659.5	0.11	
1	4	2	38.0	1824.0	500	550	20.6	0.25%	2.52	1131.9	1.58	2.5	3.19	5659.5	0.32	
1	7	2	28.5	1368.0	500	550	20.6	0.25%	3.19	1697.9	0.79	2.5	3.19	5659.5	0.24	
1	11	2	38.0	1824.0	500	550	20.6	0.25%	2.52	1131.9	1.58	2.5	3.19	5659.5	0.32	
1	14	2	32.6	1564.8	500	550	20.6	0.25%	2.98	1131.9	1.35	2.5	3.19	5659.5	0.27	
1	16	2	32.6	1564.8	500	550	20.6	0.25%	2.98	1131.9	1.35	2.5	3.19	5659.5	0.27	
1	18	2	32.6	1564.8	500	550	20.6	0.25%	2.98	1131.9	1.35	2.5	3.19	5659.5	0.27	
1	20	2	32.6	1564.8	500	550	1131.9	1131.9	1131.9	1131.9	1.35	2.5	3.19	5659.5	0.27	
1	22	2	42.8	2052.0	500	550	20.6	0.25%	2.11	1131.9	1.78	2.5	3.19	5659.5	0.36	
1	24	2	36.7	1760.4	500	550	20.6	0.25%	2.63	1131.9	1.52	2.5	3.19	5659.5	0.30	
1	11	4	13.6	163.2	450	500	20.6	0.28%	1.00	926.1	0.17	2.5	1.00	1147.5	0.14	
2	2	2	32.6	1173.6	450	550	20.6	0.28%	3.19	1528.1	0.75	2.5	3.19	5093.6	0.23	
2	4	2	38.0	1368.0	500	550	20.6	0.25%	3.19	1697.9	0.79	2.5	3.19	5659.5	0.24	
2	6	2	32.6	1173.6	500	550	20.6	0.25%	3.19	1697.9	0.68	2.5	3.19	5659.5	0.20	
2	8	2	32.6	1173.6	500	550	20.6	0.25%	3.19	1697.9	0.68	2.5	3.19	5659.5	0.20	
2	10	2	38.0	1368.0	500	550	20.6	0.25%	3.19	1697.9	0.79	2.5	3.19	5659.5	0.24	
2	12	2	38.0	1368.0	500	550	20.6	0.25%	3.19	1697.9	0.79	2.5	3.19	5659.5	0.24	
2	14	2	32.6	1173.6	500	550	20.6	0.25%	3.19	1697.9	0.68	2.5	3.19	5659.5	0.20	
2	16	2	32.6	1173.6	500	550	20.6	0.25%	3.19	1697.9	0.68	2.5	3.19	5659.5	0.20	
2	18	2	32.6	1173.6	500	550	20.6	0.25%	3.19	1697.9	0.68	2.5	3.19	5659.5	0.20	
2	20	2	32.6	1173.6	500	550	20.6	0.25%	3.19	1697.9	0.68	2.5	3.19	5659.5	0.20	
2	22	2	42.8	1539.0	500	550	20.6	0.25%	2.98	1131.9	1.36	2.5	3.19	5659.5	0.27	
2	24	2	36.7	1320.3	500	550	20.6	0.25%	3.19	1697.9	0.76	2.5	3.19	5659.5	0.23	

注]表中の危険度指標は、負担軸力と軸耐力の比であり、1.0を上回る程圧縮破壊の危険性が高いと判定される。

図 3-1 生存空間確保補強の補強柱 (1~2階のみ補強)



2) 補強工事費の算定

SRF 工法の施工は、準備工、補強材設置、仕上げ工の 3 工程から成る。準備工において、クロス、ボード等の存仕上げは、撤去するが、健全なモルタル、塗装等であれば撤去する必要はない。また、仕上げの表面は、4mm 程度までの段差であれば、そのまま施工してよく、面取り等は必要ない。補強材設置作業は、接着剤を塗布し、補強材を巻き付けながら貼り付ける作業である。柱一本当たり、3~4 人チームで作業し、1 時間程度で終了する。仕上げ工は、塗装、ボード、モルタル等適宜の仕上げを行う。通常は既存仕上げと同様のものとする<sup>4)</sup>。

補強工事費は、材料費、実施料、補強材設置労務費、仕上げ工事費用、及び現場管理費からなる。仕上げ工事費には、既存仕上げ解体費用も含む。例題建物に関して標準的な工事費を算定した結果、合計で約 540 万円と計算された。ただし、仕上げ工事費は、内部の柱については一律一本当たり 10 万円、外部の柱については 20 万円と仮定している。補強工事費は、補強対象柱一本当たり、約 23 万円、補強対象建物の延べ床面積当たり、1180 円/m<sup>2</sup> となる。また、材料費等のみであれば、約 160 万円であり、表 3-1 に工事費の計算内訳を示す。

事務所ビル、マンション等の実績では、SRF 補強工事費は柱一本当たり約 50 万円となるが、本例の場合には、4 階建であること、既存のせん断補強筋量とピッチが現行基準に比べて極端に大きくないことなどから、補強材厚さが事務所ビル等の補強事例に比べて小さいことにより、補強工事費が小さく納まっている。

表 3-1 生存空間確保補強の工事費の計算内訳

階	柱No.		補強厚さ mm	補強層数	補強面積 m <sup>2</sup>	SRFベルト	SRF接着剤	SRF実施許諾料	SRF材料費	品質管理員	作業員	SRF労務費 合計	仕上 工事費	工事費合計	現場管理費 20%	合計
	X	Y				2580円/mm <sup>2</sup> /m	1800円/層/m	3000円/m <sup>2</sup>	実施料 合計	300円/層/m	1000円/層/m					
1	7	1	2.5	1	4.6	29,440	8,280	13,800	51,520	1,380	4,600	5,980	200,000	257,500	51,500	309,000
1	11	1	2.5	1	6.1	39,040	10,980	18,300	68,320	1,830	6,100	7,930	200,000	276,250	55,250	331,500
1	4	2	2.5	1	6.1	39,040	10,980	18,300	68,320	1,830	6,100	7,930	100,000	176,250	35,250	211,500
1	7	2	2.5	1	6.1	39,040	10,980	18,300	68,320	1,830	6,100	7,930	100,000	176,250	35,250	211,500
1	11	2	2.5	1	6.1	39,040	10,980	18,300	68,320	1,830	6,100	7,930	100,000	176,250	35,250	211,500
1	14	2	2.5	1	6.1	39,040	10,980	18,300	68,320	1,830	6,100	7,930	100,000	176,250	35,250	211,500
1	16	2	2.5	1	6.1	39,040	10,980	18,300	68,320	1,830	6,100	7,930	100,000	176,250	35,250	211,500
1	18	2	2.5	1	6.1	39,040	10,980	18,300	68,320	1,830	6,100	7,930	100,000	176,250	35,250	211,500
1	20	2	2.5	1	6.1	39,040	10,980	18,300	68,320	1,830	6,100	7,930	100,000	176,250	35,250	211,500
1	22	2	2.5	1	6.1	39,040	10,980	18,300	68,320	1,830	6,100	7,930	100,000	176,250	35,250	211,500
1	24	2	2.5	1	6.1	39,040	10,980	18,300	68,320	1,830	6,100	7,930	100,000	176,250	35,250	211,500
2	11	4	2.5	1	5.7	36,480	10,260	17,100	63,840	1,710	5,700	7,410	200,000	271,250	54,250	325,500
2	2	2	2.5	1	5.7	36,480	10,260	17,100	63,840	1,710	5,700	7,410	100,000	171,250	34,250	205,500
2	4	2	2.5	1	6.0	38,400	10,800	18,000	67,200	1,800	6,000	7,800	100,000	175,000	35,000	210,000
2	6	2	2.5	1	6.0	38,400	10,800	18,000	67,200	1,800	6,000	7,800	100,000	175,000	35,000	210,000
2	8	2	2.5	1	6.0	38,400	10,800	18,000	67,200	1,800	6,000	7,800	100,000	175,000	35,000	210,000
2	10	2	2.5	1	6.0	38,400	10,800	18,000	67,200	1,800	6,000	7,800	100,000	175,000	35,000	210,000
2	12	2	2.5	1	6.0	38,400	10,800	18,000	67,200	1,800	6,000	7,800	100,000	175,000	35,000	210,000
2	14	2	2.5	1	6.0	38,400	10,800	18,000	67,200	1,800	6,000	7,800	100,000	175,000	35,000	210,000
2	16	2	2.5	1	6.0	38,400	10,800	18,000	67,200	1,800	6,000	7,800	100,000	175,000	35,000	210,000
2	18	2	2.5	1	6.0	38,400	10,800	18,000	67,200	1,800	6,000	7,800	100,000	175,000	35,000	210,000
2	20	2	2.5	1	6.0	38,400	10,800	18,000	67,200	1,800	6,000	7,800	100,000	175,000	35,000	210,000
2	22	2	2.5	1	6.0	38,400	10,800	18,000	67,200	1,800	6,000	7,800	100,000	175,000	35,000	210,000
2	24	2	2.5	1	6.0	38,400	10,800	18,000	67,200	1,800	6,000	7,800	100,000	175,000	35,000	210,000
合計					143.0				1,601,600	1,800	6,000	185,900	2,700,000	4,487,500	897,500	5,385,000

注] 材料費の内、SRF ベルトは、補強厚さと補強面積に 2580 円を乗じて計算する。接着剤は、補強層数と補強面積に 1800 円を、実施料は、補強面積に 3000 円を乗ずる。品質管理員と作業員の労務費は、補強層数と補強面積に、それぞれ 300 円と 1000 円を乗じて算出している。

### 3) 補強工事

SRF 工法は、特許工法であり、建築防災協会の技術評価で、実施会社は、SRF 研究会の会員企業に限ることとしている。ただし、同研究会への入会申し込みは自由であり、客観的な入会審査基準を満たしていれば、入会できる。現在会員企業は、設計会社約 250 社、施工会社約 60 社であり、毎週増加している。また、元請け設計事務所、あるいは建設会社が研究会会員でない場合でも、会員企業に専門会社として委託することで設計あるいは施工ができる。既に、39 棟の学校建物の耐震補強に用いられた実績がある。表 3-2 に実績表を示す。また、居住者、所有者等が D I Y として自宅等を補強する場合に限り、材料のみの販売も行っている。

補強材設置工事は、臭気、粉塵、騒音振動をほとんど発生せず、短時間で終了する。幼稚園で園児が遊ぶ中で施工した実績もある。また、市役所で執務中、来場者の来訪中はブルーシートで仮に補強中の柱を覆って施工を行った実績がある。従って、学校を稼働しながら、週末を使って施工することが可能である。



市役所補強工事中（中央の窓際柱）



市役所補強工事中（中央の室内柱）



中学校（窓、腰壁付柱）



幼稚園補強工事中

表 3-2 SRF 工法学校関連施設施工実績

番号	工事名称	所在区市	柱本数	壁枚数	梁本数	壁付き柱本数	補強面積 (㎡)	着工	完了
1	大学(学生サービスセンター)改修工事	東京都世田谷区	9				41	2003年2月	2003年4月
2	大学号館耐震その他工事	宮城県仙台市	81			8	724	2004年8月	2004年9月
3	幼稚園耐震補強工事	東京都墨田区	40				232.2	2004年8月	2004年10月
4	幼稚園耐震改修工事	東京都千代田区	7				48.6	2004年8月	2004年9月
5	幼稚園耐震改修工事(H18)	東京都千代田区	1				6.4	2006年7月	2006年7月
6	油日小学校校舎耐震補強工事	滋賀県甲賀郡	2				13.9	2007年7月	2007年8月
7	亀岡市立千代川小学校校舎大規模改修工事	京都府亀岡市	1				6.1	2004年8月	2004年8月
8	仙台市立北六番丁小学校校舎耐震補強工事	宮城県仙台市	1				5.6	2005年7月	2005年7月
9	下阪本小学校校舎改築工事	滋賀県大津市	2				23.4	2004年9月	2004年11月
10	都立世田谷地区総合学科高等学校改築及び改修工事	東京都世田谷区	2				18.9	2007年6月	2007年7月
11	大学研究棟	神奈川県横浜市	8				69.5	2006年3月	2006年3月
12	武蔵野市立第五中学校耐震補強工事	東京都武蔵野市	64				317	2006年7月	2006年8月
13	武蔵野市立第五中学校耐震補強工事	東京都武蔵野市	4				18.2	2006年7月	2006年8月
14	大学改修工事	長野県上田市	2				12.2	2005年10月	2005年10月
15	東松島市立野蒜小学校地震補強工事	宮城県東松島市			7		18.9	2005年7月	2005年7月
16	葛飾区立西小管小学校耐震補強工事	東京都葛飾区	5				22.4	2006年8月	2006年8月
17	大学耐震補強工事	東京都文京区	17	1			144	2006年3月	2006年8月
18	立川市立第二小学校1F独立柱SRF軸耐力補強工事	東京都立川市	3				24.7	2006年8月	2006年8月
19	太田市立強戸小学校校舎耐震補強工事	群馬県太田市		1			19.1	2006年8月	2006年8月
20	北条中学校大規模改装工事	大阪府大東市	3				16.2	2006年8月	2006年8月
21	明和中学校耐震改修工事	和歌山県和歌山市	2				13.8	2006年8月	2006年8月
22	諸福中学校大規模改造建築工事	大阪府大東市	1				5.6	2006年8月	2006年8月
23	大学附属中・高等部校舎改修その他工事	香川県坂出市	2				16	2006年11月	2006年11月
24	大学体育館等改修工事	香川県坂出市	5				54.1	2007年2月	2007年3月
25	大学総合校舎改修工事	千葉県稲毛区	8				52	2006年9月	2007年2月
26	大学附属中学校校舎改修工事	埼玉県さいたま市	1				6.3	2006年9月	2006年9月
27	大学耐震改修工事	千葉県千葉区	6			6	70.6	2007年3月	2007年3月
28	幼稚園耐震補強工事	神奈川県横浜市				12	75.2	2006年7月	2006年8月
29	大学改修工事	東京都目黒区	13				68	2007年1月	2007年1月
30	大学改修工事	茨城県つくば市	2				20.9	2007年3月	2007年3月
31	大学改修工事	茨城県つくば市	1				9.2	2007年3月	2007年3月
32	高等学校耐震改修工事	大阪府大阪市	15				83.4	2006年8月	2006年8月
33	仙台市立南小泉小学校校舎耐震補強工事	宮城県仙台市	6				37.8	2007年8月	2007年8月
34	小金井市立南中学校校舎耐震補強工事	東京都小金井市	3			4	48.5	2007年7月	2007年8月
35	練馬区立石神井南中学校校舎耐震補強工事	東京都練馬区	2				9	2007年8月	2007年8月
36	太田市立藪塚本町中学校南校舎耐震補強工事	群馬県太田市	4					2007年8月	2007年8月
37	仙台市立中田中学校耐震補強工事	宮城県仙台市	2					2007年10月	2007年10月
38	大学改修工事	茨城県水戸市	6				38	2007年11月	2007年11月
39	大学改修工事	愛知県名古屋	1				3.6	2007年12月	2007年12月
	総計		332	2	7	30	2394.3		

### 3. 2 Is 値が基準を満たすことを計画する場合

学校施設の耐震補強マニュアルでは、例題建物の補強計画において、目標耐震性能として、Is 値 0.7 以上とし、 $F=1.0$  での  $C_T S_D$  値で 0.45 以上となることが望ましいとしている。例に挙げた学校建物は、1、2 階の桁行方向について Is 値が 0.6 を下回るなどの診断結果が得られている。本節では、SRF 工法で柱を補強することによって基準をクリアするように計画を行う。手順は生存空間確保補強と同様であるが、部材の強度と層の終局変形に対する靱性指標 (Fu 値) を増大させることによって、Is 値を向上させることを目指す点が異なる。

鉄板巻き、炭素繊維等の補強工法で柱を補強した場合には、耐震診断基準等において、短柱<sup>注]</sup> に対しては、補強を行っても靱性が向上しないように規定されている。また、軸力比の制限もあり、柱補強だけでは、Is 値がほとんど向上しない。しかし、SRF 工法は、高軸力の変動軸力や、短柱の実験により、短柱や高軸力の柱においても、靱性が向上することが建築防災協会の技術評価で認められている。さらに、補強によってせん断強度が曲げ強度を上回らない場合 (せん断柱) でも、補強量に応じて靱性が向上することも昨年 7 月の改訂で認められている。従って、窓側の短柱や、下階壁抜けで高軸力を受ける柱を補強することで、強度と靱性を向上させ、基準値をクリアすることが可能になる。

既存の壁を SRF 工法で補強することで壁の強度と靱性を向上させることも、上記の改訂で認められているので、柱補強で不足する場合には、既存壁を補強して耐力を補うことが可能である。

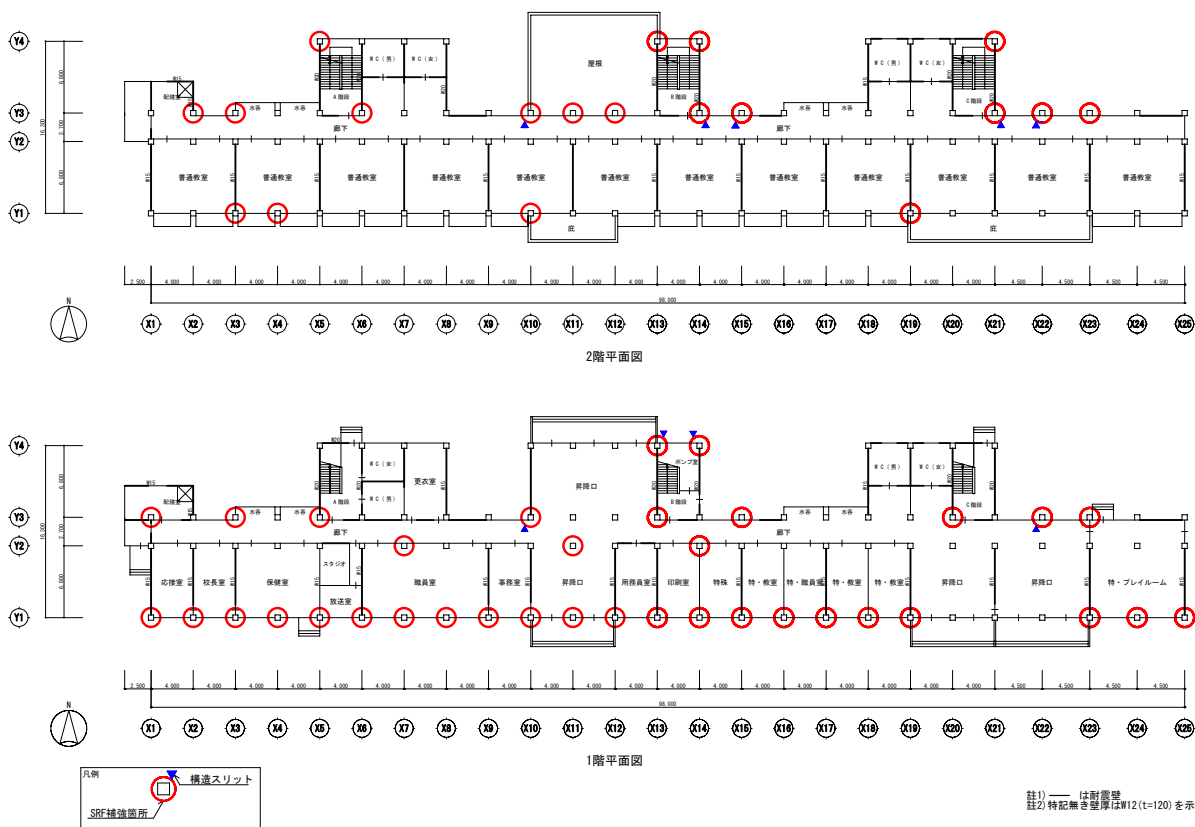
注] 柱内のり高さ<sup>1)</sup>とせい<sup>2)</sup>の比が 2.0 以下の柱をいう。窓側で腰壁等がついている柱が短柱になる場合が多い。

#### 1) 補強柱・壁の選定と補強量の決定

Is 値等が基準値 (本例の場合は、 $I_{so}=0.7$ 、 $F=1.0$  での  $C_T S_D$  値で 0.45 以上) をクリアすることを目的とする補強では、補強対象柱を以下の基準で選定し、強度と層の終局変形に対する靱性指標 (Fu 値) を増大させることによって、Is 値を向上させることを目指す。

- ①第 2 種構造要素である柱は原則として補強柱とする。
- ②下階壁抜け柱は原則として補強する。
- ③せん断柱、F 値の小さい曲げ柱は補強柱とする。
- ④上記で耐震指標が基準に満たない場合には、既存の耐震壁を SRF 補強する。
- ⑤以上で不足する場合には、鉄筋コンクリート壁増設等を併用する。

例題建物に対して上記の方針を適用し、補強対象柱を選定した結果を図 3-2 に示す。補強対象柱は、1階 36 本、2階 19 本の計 55 本である。また、補強前後の耐震指標等を付表に示す。壁補強を用い無くとも基準値をクリアした。ただし、腰壁および垂れ壁がついている柱の内、極脆性柱、せん断柱については、腰壁部分にスリットを設けて、SRF 補強材で巻き立て補強している。



付表 補強前後の構造耐震指標等

<補強前 X方向>

階	Fu	E0	SD	T	Is	C <sub>TU</sub> ・S <sub>D</sub>	判定
4	2.80	1.42	0.93	0.95	1.25	0.42	OK
3	2.40	0.85	0.93	0.95	0.75	0.30	OK
2	1.60	0.60	0.93	0.95	0.53	0.32	NG
1	1.00	0.56	0.93	0.95	0.50	0.52	NG

<補強後 X方向>

階	Fu	E0	SD	T	Is	C <sub>TU</sub> ・S <sub>D</sub>	判定
4	2.80	1.42	0.93	0.95	1.25	0.42	OK
3	2.40	0.85	0.93	0.95	0.75	0.30	OK
2	1.80	0.84	0.93	0.95	0.74	0.42	OK
1	2.40	0.85	0.93	0.95	0.75	0.30	OK

図 3-2 Is 値基準値クリア補強 (1~2 階柱のみ補強)

2) 補強工事費の算定

Is 値向上を目指す場合でも、SRF 工法による補強工事は、生存空間確保補強と変わらない。ただし、本例では、補強対象柱が、外部の窓側になっており、窓枠と躯体コンクリートの間に隙間を空け、補強材を設置して外壁仕上げをする工事が必要になる分柱一本当たりの工事費は増加する。

例題建物の補強に関して標準的工事費を算定した結果、合計で約 1850 万円と計算された。ただし、仕上げ工事費は、生存空間確保と同様内部柱は 10 万円、外部の柱については 20 万円、スリットは一箇所 5 万円と仮定している。補強工事費は、補強対象柱一本当たり、約 33 万円、補強対象建物の延べ床面積当たり、4000 円/m<sup>2</sup>となる。表 3-3 に工事費の計算内訳を示す。

表 3-3 SRF 工法による Is 値基準値クリア補強工事費計算内訳

階	柱No.		補強厚さ mm	補強層数	補強面積 m <sup>2</sup>	SRFベルト	SRF接着剤	SRF実施許諾料	SRF材料費	品質管理員	作業員	SRF労務費 合計	仕上 工事費	工事費合計	現場管理費	合計
	X	Y				2560円/mm/m <sup>2</sup>	1800円/層/m <sup>2</sup>	3,000	300円/層/m <sup>2</sup>	1000円/層/m <sup>2</sup>	合計				合計	
1	1	1	2.5	1	4.6	29,440	8,280	13,800	51,520	1,380	4,600	5,980	200,000	257,500	51,500	309,000
1	2	1	2.5	1	4.6	29,440	8,280	13,800	51,520	1,380	4,600	5,980	200,000	257,500	51,500	309,000
1	3	1	2.5	1	4.6	29,440	8,280	13,800	51,520	1,380	4,600	5,980	200,000	271,300	54,260	325,560
1	4	1	2.5	1	4.6	29,440	8,280	13,800	51,520	1,380	4,600	5,980	200,000	271,300	54,260	325,560
1	5	1	2.5	1	4.6	29,440	8,280	13,800	51,520	1,380	4,600	5,980	200,000	271,300	54,260	325,560
1	6	1	2.5	1	4.6	29,440	8,280	13,800	51,520	1,380	4,600	5,980	200,000	271,300	54,260	325,560
1	7	1	8	2	4.6	94,208	16,560	13,800	124,568	2,760	9,200	11,960	200,000	350,328	70,066	420,394
1	8	1	2.5	1	4.6	29,440	8,280	13,800	51,520	1,380	4,600	5,980	200,000	271,300	54,260	325,560
1	9	1	2.5	1	4.6	29,440	8,280	13,800	51,520	1,380	4,600	5,980	200,000	271,300	54,260	325,560
1	10	1	2.5	1	4.6	29,440	8,280	13,800	51,520	1,380	4,600	5,980	200,000	271,300	54,260	325,560
1	11	1	8	2	4.6	94,208	16,560	13,800	124,568	2,760	9,200	11,960	200,000	350,328	70,066	420,394
1	12	1	2.5	1	4.6	29,440	8,280	13,800	51,520	1,380	4,600	5,980	200,000	271,300	54,260	325,560
1	13	1	2.5	1	4.6	29,440	8,280	13,800	51,520	1,380	4,600	5,980	200,000	271,300	54,260	325,560
1	14	1	8	2	4.6	94,208	16,560	13,800	124,568	2,760	9,200	11,960	200,000	350,328	70,066	420,394
1	15	1	2.5	1	4.6	29,440	8,280	13,800	51,520	1,380	4,600	5,980	200,000	271,300	54,260	325,560
1	16	1	2.5	1	4.6	29,440	8,280	13,800	51,520	1,380	4,600	5,980	200,000	271,300	54,260	325,560
1	17	1	2.5	1	4.6	29,440	8,280	13,800	51,520	1,380	4,600	5,980	200,000	271,300	54,260	325,560
1	18	1	2.5	1	4.6	29,440	8,280	13,800	51,520	1,380	4,600	5,980	200,000	271,300	54,260	325,560
1	19	1	2.5	1	4.6	29,440	8,280	13,800	51,520	1,380	4,600	5,980	200,000	271,300	54,260	325,560
1	23	1	2.5	1	4.6	29,440	8,280	13,800	51,520	1,380	4,600	5,980	200,000	271,300	54,260	325,560
1	24	1	2.5	1	4.6	29,440	8,280	13,800	51,520	1,380	4,600	5,980	200,000	271,300	54,260	325,560
1	25	1	2.5	1	4.6	29,440	8,280	13,800	51,520	1,380	4,600	5,980	200,000	271,300	54,260	325,560
1	7	2	8	2	6.2	126,976	22,320	18,600	167,896	3,720	12,400	16,120	100,000	302,616	60,523	363,139
1	11	2	8	2	6.2	126,976	22,320	18,600	167,896	3,720	12,400	16,120	100,000	302,616	60,523	363,139
1	14	2	8	2	6.2	126,976	22,320	18,600	167,896	3,720	12,400	16,120	100,000	302,616	60,523	363,139
1	1	3	2.5	1	3.9	24,960	7,020	11,700	43,680	1,170	3,900	5,070	200,000	260,450	52,090	312,540
1	3	3	2.5	1	2.8	17,920	5,040	8,400	31,360	840	2,800	3,640	200,000	243,400	48,680	292,080
1	5	3	2.5	1	4.3	27,520	7,740	12,900	48,160	1,290	4,300	5,590	200,000	266,650	53,330	319,980
1	10	3	2.5	1	2.0	12,800	3,600	6,000	22,400	600	2,000	2,600	250,000	281,000	56,200	337,200
1	13	3	2.5	1	4.3	27,520	7,740	12,900	48,160	1,290	4,300	5,590	200,000	266,650	53,330	319,980
1	15	3	2.0	4	2.0	102,400	14,400	6,000	122,800	2,400	8,000	10,400	200,000	339,200	67,840	407,040
1	20	3	5	1	4.3	55,040	7,740	12,900	75,680	1,290	4,300	5,590	200,000	294,170	58,834	353,004
1	22	3	2.5	1	3.1	19,840	5,580	9,300	34,720	930	3,100	4,030	250,000	298,050	59,610	357,660
1	23	3	1.0	2	3.1	79,360	11,160	9,300	99,820	1,860	6,200	8,060	200,000	317,180	63,436	380,616
1	13	4	2.5	1	4.3	27,520	7,740	12,900	48,160	1,290	4,300	5,590	250,000	316,650	63,330	379,980
1	14	4	2.5	1	4.3	27,520	7,740	12,900	48,160	1,290	4,300	5,590	250,000	316,650	63,330	379,980
2	3	1	2.5	1	4.6	29,440	8,280	13,800	51,520	1,380	4,600	5,980	200,000	271,300	54,260	325,560
2	4	1	2.5	1	4.6	29,440	8,280	13,800	51,520	1,380	4,600	5,980	200,000	271,300	54,260	325,560
2	10	1	2.5	1	4.6	29,440	8,280	13,800	51,520	1,380	4,600	5,980	200,000	271,300	54,260	325,560
2	19	1	2.5	1	4.6	29,440	8,280	13,800	51,520	1,380	4,600	5,980	200,000	271,300	54,260	325,560
2	2	3	5	1	2.6	33,280	4,680	7,800	45,760	780	2,600	3,380	200,000	256,940	51,388	308,328
2	3	3	2.5	1	2.6	16,640	4,680	7,800	29,120	780	2,600	3,380	200,000	240,300	48,060	288,360
2	6	3	2.5	1	4.0	25,600	7,200	12,000	44,800	1,200	4,000	5,200	100,000	162,000	32,400	194,400
2	10	3	2.5	1	2.6	16,640	4,680	7,800	29,120	780	2,600	3,380	250,000	290,300	58,060	348,360
2	11	3	5	1	2.6	33,280	4,680	7,800	45,760	780	2,600	3,380	200,000	256,940	51,388	308,328
2	12	3	5	1	2.6	33,280	4,680	7,800	45,760	780	2,600	3,380	200,000	256,940	51,388	308,328
2	14	3	2.5	1	4.0	25,600	7,200	12,000	44,800	1,200	4,000	5,200	250,000	312,000	62,400	374,400
2	15	3	2.5	1	4.0	25,600	7,200	12,000	44,800	1,200	4,000	5,200	250,000	312,000	62,400	374,400
2	21	3	2.5	1	4.0	25,600	7,200	12,000	44,800	1,200	4,000	5,200	250,000	312,000	62,400	374,400
2	22	3	2.5	1	2.8	17,920	5,040	8,400	31,360	840	2,800	3,640	250,000	293,400	58,680	352,080
2	23	3	5	1	2.8	35,840	5,040	8,400	49,280	840	2,800	3,640	200,000	261,320	52,264	313,584
2	5	4	5	1	2.4	30,720	4,320	7,200	42,240	720	2,400	3,120	200,000	252,560	50,512	303,072
2	13	4	5	1	2.4	30,720	4,320	7,200	42,240	720	2,400	3,120	200,000	252,560	50,512	303,072
2	14	4	5	1	2.4	30,720	4,320	7,200	42,240	720	2,400	3,120	200,000	252,560	50,512	303,072
2	21	4	5	1	2.4	30,720	4,320	7,200	42,240	720	2,400	3,120	200,000	252,560	50,512	303,072
			合計		221				3,309,772			340,990	11,050,000	15,335,562	合計	18,402,674

注] 材料費の内、SRF ベルトは、補強厚さと補強面積に 2580 円を乗じて計算する。接着剤は、補強層数と補強面積に 1800 円を、実施料は、補強面積に 3000 円を乗ずる。品質管理員と作業員の労務費は、補強層数と補強面積に、それぞれ 300 円と 1000 円を乗じて算出している。

学校施設の耐震補強マニュアルに示されている補強計画例は、間取り変更の為の壁撤去などの耐震補強以外の工事も含むが、補強部分は、RC壁増設8箇所、ブレース補強16枚、柱RC巻き立て補強3本である。同マニュアルに示された標準的な価格から直接工事費を算出すると約2300万円となり、共通仮設、管理費を加え、補強部分だけで、5000万円規模となると推定される。SRF補強工事は、これに比べ安価であり、工期も短く、在来補強のように夏休みを用いなくとも、学期中の週末工事で可能である。

### 3) 補強工事

Is値向上を目指す補強の場合でも、工事実施会社等は、生存空間確保補強と同様である。補強材設置工事自体は、臭気、粉塵、騒音振動をほとんど発生せず、短時間で終了する。庁舎で窓際の柱を、執務を止めないで施工した実績があり、学校を稼働しながら、週末を使って施工することが可能である。表3-2(前掲)の実績表に示したように既に40件近い補強実績があり、本年も多数計画されている。

震災の被害調査結果から、窓がらみの短柱と下階壁抜け柱が学校建物の弱点であると指摘されている。SRF工法はこれらの構造要素を直接補強し、強度、靱性、及び軸耐力を向上させる工法であり、合理的な解決策になると考えられる。

## 文献

- 1) 文部科学省：学校施設の耐震補強マニュアル(RC造校舎編《2003年改訂版》) p.204～p.313
- 2) (財)日本建築防災協会：建防災発第2174号、平成19年12月11日
- 3) 1)と同じ、pp68～73
- 4) 構造品質保証研究所：SRF工法設計・施工指針 同解説 日本建築防災協会技術評価版、ppC-4～C-17、2007年12月
- 5) 構造品質保証研究所：建築物のSRF工法設計施工指針と解説 2007年改訂版 ISBN4-902105-11-X、pp87～88、pp125～129、2007年9月

---

〒102-8220 千代田区九段北1-11-5 構造品質保証研究所

www.sqa.co.jp

TEL 03-5214-3431、FAX5214-3432

E:mail square@sqa.co.jp

---