

低コストで施工は簡単。 環境にも配慮した、 新時代の耐震補強工法—『SRF工法』。

阪神・淡路大震災から10年目に当たる今年、3月の福岡県西方沖地震、7月に首都圏で震度5強、そして8月には宮城県南部で震度6弱の地震が発生し、地震リスクと建物の耐震性能について、我々は改めて考えさせられることとなった。

既存建物のリニューアルメニューは多岐にわたるが、中でも耐震補強改修は、人命や財産の存続に直結する、重要なリニューアルである。今号では、従来工法と比較して、コストを抑え、簡単に、しかも短期間で施工できる、新しい耐震補強「SRF工法」を紹介する。

進まない耐震補強

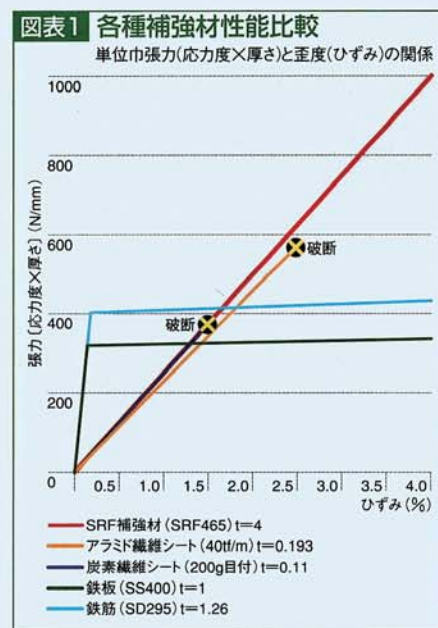
阪神・淡路大震災を経て、近年、やがて起こるであろう大地震に備え、既存建築物の耐震補強に対する関心が高まっている。南関東地震発生を想定した場合、大規模な補強が必要とされている建物は、東京23区内だけで約4万3千棟にものぼる。大都市圏の被害状況を予想すれば、これらの耐震補強が急務とされていることは言うまでもないだろう。

既存オフィスビルに着目すると、今、テナント企業が入居を決める際に最も重視するのは耐震性能であると言われている。しかし、耐震補強が必要とされる1981年の新耐震基準法施行以前に竣工したビル、特に中小規模ビルで、補強工事を既に実施したという事例はそう多くはない。不動産投資市場の拡大と相まって、投資法人やファンド運用会社による資産価値向上目的の耐震補強事

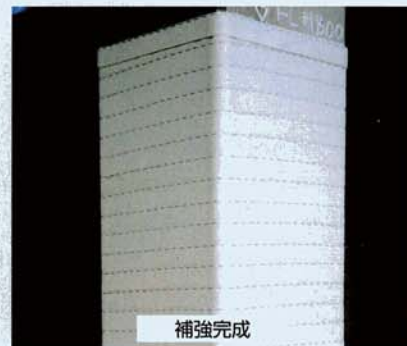
例は、徐々にではあるが出てきてはいるものの、全体として十分な普及率であるとは言いがたい。

この要因として第一に挙げられるのが、耐震補強は他の改修と比較してコストがかかるということである。さらに、施工に要する時間や、テナント入居中のビルでは大がかりな工事ができない等が障壁となり、改修に踏み切れないのが実状だ。

そんな中、これらの問題点を解決すると同時に、優れた耐震性能を実現するとして、注目を集めている補強工法がある。それが、「SRF工法」である。



SRF補強工事の様子



新世代の補強工法とは

SRF (Super Reinforcement with Flexibility) とは、高延性材(柔軟性に富む素材)を用いて構造物を補強する工法である。既存の柱や壁に補強材を巻き付けたり貼り付けたりする工法において、今まで一般的には、補強される部材より硬いものを使用することが効果的であると考えられており、鉄や炭素繊維といった硬質な補強材を用いることが常識であった。一方SRF工法は、ポリエステル等の柔らかく伸びのある繊維シートやベルトを用いて補強するという、従来とは異なる新しい発想のもとに開発された工法である。

では、なぜ、柔らかい素材による補強が高い耐震性能を発揮するのだろうか。土、レンガ、木、コンクリート、岩石など、構造物の部材を構成する材料は、地震等の外力の作用で変形する際、表面や内部に亀裂等の破壊

が生じ、見かけの体積が膨張する性質がある。これを、鉄等の硬い材料で補強する従来の工法では、部材の変形が小さい段階では効果を発揮するが、変形がある限界を超えると追従できなくなり、補強材自身が部材を破壊したり、座屈や破断を生じたりして、補強効果が一気に失われてしまう。一方、補強される部材の材料より柔軟で、伸展性、屈曲性のある材料を用いると、部材を過度に拘束することなく、部材が大きく変形、さらに粒状に破壊した後も補強効果を持続し(ストッキングに砂を詰めた状態を想像すると分かりやすいだろう)、構造物の倒壊を防止することが可能となる。これが、SRF工法の原理である(図表1参照)。

3年に及ぶ実験で補強効果を検証

SRF工法は、構造品質保証研究所(東京都千代田区)の代表取締役社長、工学博士・五十嵐俊一氏によって、1999年に発明された。同工法の開発にあたっては、3年余りにも及ぶ実験が行われている。東大地震研究所、横浜国立大学の協力のもと、鉄筋コンクリート柱について40体の検証実験を実施。また、つくばの独立行政法人防災科学研究所において、大型振動台実験により歴史上起こった大地震を7回連続して再現しても、柱の軸耐力(垂直方向に支持する力)を保持し、崩壊を免れることが検証された。

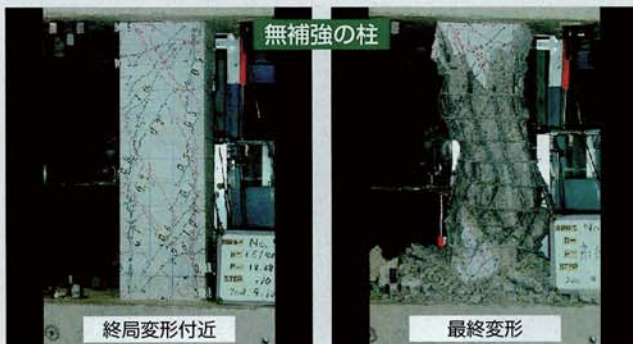
同工法は、2002年に(財)日本建築防災

図表2 耐震補強工法比較表

主な工法	工法概要	長所	短所
鉄板補強	柱の周囲を鉄板で囲んで溶接し、柱と鉄板の隙間には無収縮モルタルを充填する。	一般的な工法である。採用実績が多い。	火災に十分注意する必要がある。断面の増大、鉄板とモルタルの重量が増加する(柱1本あたり約1トンの増加)。
連続繊維シート補強(カーボンアラミド)	柱表面に、炭素繊維シートやアラミド繊維シートにエポキシ樹脂等の含浸接着剤を含浸させて貼り付ける。	補強材は厚さが薄く重量も軽量。工事で特に大きな動力源や大きな工具を必要としない。	臭気が発生する。解体・下地処理の際、粉塵・騒音が発生する。
SRF補強	ポリエステル繊維を壁・柱に接着剤で固定しながら、人力で貼り付ける。	補強材は厚さが薄く重量も軽量。接着剤は無溶剤1液性のものを使用し品質管理も容易。貼り付けられる側のモルタル除去を必要としない。	ほとんどなし。
RC耐震壁	鉄筋コンクリートの壁を新設、あるいは既存の壁を増厚し、通常は上部200mm程度無収縮モルタルを圧入する。	採用実績が多い。建物の強度が増す。	居住スペースが狭くなり自由度が下がる。アンカー工事・コンクリート工事等において粉塵・騒音が発生する。
鉄骨ブレース	囲まれた所に鉄骨のブレースを設け、アンカーとスタッドボルトおよび無収縮モルタルで一体化する。	一般的な工法である。採用実績が多い。	アンカー工事等において粉塵・騒音が発生し、また火気を使用する。建物の重量が増す。
免震工法	建物の底部または中層部にゴム等を設置し、揺れを抑える。	強い横揺れを吸収し、居住性を高める。	工事が大掛かりで費用や工期がかかる。掘削土が大量に発生する。



■実証実験による比較



協会の技術評価を取得、2003年には国土交通省新技術 (NETIS) に登録、また特許 (第3484156号) も取得している。

SRF工法のメリット

前述したように、従来工法の耐震補強にはコストや時間がかかり、実施に二の足を踏むケースが多い。これらの側面から、SRF工法の主なメリットを以下に紹介する。

① 施工コスト、工期を大幅に低減

SRF補強は、従来の耐震補強工事と比較して、補強材、接着剤ともに使用する材料の種類が少ない。また、工程も簡単で作業時間が短く、貼り付け作業は3~4人一組で行い、

独立柱で周囲に障害物がない場合、柱1本・補強材1層当たり、平均1~2時間で終了する。これが、材料費・作業費に反映され、総コストの低減を可能としている。

鉄筋コンクリートの建物を例にとると、従来工法による柱補強のコストは、鉄板巻き補強で1本100万円、標準工期20日程度が必要と言われている。また、炭素繊維補強では、巻き付けやすくなるための柱の面取り、下地処理費用を別にして、1本80万円、標準で30日であるとされている。

SRF工法の場合は、仕上げや復旧作業を含めても、総コストは1本当たり約30~50万円と従来工法の約半分、工期も最速で2日程度と大幅に短縮される。鉄板巻き補強のように、工場での補強材製作期間も不要なため、

急な発注に応えることも可能だ (図表3参照)。

また、SRF工法による柱補強に、耐震壁の増設等、他の工法を組み合わせる場合も、柱1本当たりのコストダウンに加えて、SRFの補強効果により、壁の増設枚数を削減でき、全体のコストを抑えることができる。もちろん、壁の増設を減らすことによる使い勝手のよさを勘案すれば、コスト以上のメリットがあると言える。

② 人と環境に優しく、入居中でも簡単に施工

建物を使用しながら施工する「居ながら補強」は、従来の耐震補強工法でも可能とされてきた。しかし実際には、騒音・振動・粉塵・臭気・大掛かりな材料の搬入や作業員の出入りなど、テナントやオーナー、ビル管理側に、大きな負担となっていたのが実情である。

SRF工法では、工期が短いことに加え、材料は宅配便で搬入できる程度。また、工事では建物の部材を削ったり穴を開けたりしないため、騒音や振動、粉塵が発生せず、本来の意味での「居ながら補強」を可能とした。

また、ポリエステル繊維等の補強材を接着する接着剤にも特徴がある。従来工法のように、補強材が建物部材に強力に接着されていると、大規模地震の強大な引っ張る力により剥がれる際、部材表面や補強材が破壊される危険がある。そこで、SRF工法では、変形に耐えられる中強度で弾力性に富んだ、ポリウレタン系の接着剤を使用する。これは、従来の2液混合型接着剤と比較して、施工や品質管理が容易な1液性の無溶剤タイプであり、臭気がないのが特徴。近年、シックハウス症候群で問題となっているホルム

図表3 補強コスト構成表

■ 補強工事費の全体構成

直接的な費用 (補強工事に直接必要な費用)

準備工事費	備品の移動、仕上げ・設備の撤去あるいは移設等
SRF補強工事費	SRF補強材の貼り付け工事費用
その他補強工事費	ブレース、壁増設などSRF以外の補強工法の施工費用
仕上げ工事費	補強後の仕上げ修復、設備設置等

間接的な費用 (改修工事を行うことに共通して必要な経費)

仮設工事費	道路専用、足場、安全対策、発生材処分、清掃等
現場経費	現場事務所経費
経費	建設会社の本支店経費

■ SRF補強工事費 (直接工事費) の構成と標準金額

内 容	標準的金额※	計算単位
SRF補強材	10,500円	
SRF接着剤	1,900円	
材料費小計	12,400円	
SRF補強材の貼り付け作業員	3,500円	補強厚4mm、面積1㎡当たり
作業指揮・品質管理員	1,000円	
労務費小計	4,500円	
専門工事会社経費 (15%)	3,000円	
SRF補強の特許・ノウハウの使用料	3,000円	補強厚によらず、補強面積1㎡当たり
SRF補強工事費計	22,900円	補強厚4mm、面積1㎡当たり

※材料費、労務費ともに、補強対象部材の条件、施工条件により変動する。

■ SRF補強事例① (日本橋西川ビル (竣工: 1962年、規模: 地上9階・地下3階・塔屋3階、構造: 鉄骨鉄筋コンクリート造))



施工状況



施工完了

アルデヒド、トルエン、キシレン等の有害物質が発生せず、環境ホルモン懸念物質も含まない。まさに、人と環境に配慮した補強方法と言えるだろう。

③テナント誘致計画によって、部分補強が可能

SRF工法は、建物の硬さや重さを変えずに、耐震性能を向上させる補強工法である。つまり、補強によって建物のバランスを崩したり、基礎に大きな負担をかけたりしないため、部分的、段階的な補強が可能となる。従って、施工しやすい場所、重要な場所から先行して実施することもできる。前述の通り工期も短いので、例えば一部のテナント入れ替え時の原状回復工事や改装時に併せて実施することで、さらに手間やコストの低減を図ることが可能である。

資産価値を高める耐震診断

不動産投資市場はもちろん、賃貸オフィス市場においても、リスクマネジメントの指標として、ビルの耐震性能を客観的数値で表す必要性が高まっている。SRF工法では、建物の補強目的に加え、Is値（建物の靱性と強度を総合的にまとめた指数。一般に0.6以上であれば、新耐震基準を満たすと判断される）の向上を目的とする場合には、詳細な耐震診断を実施し、この結果に基づいて、補強計画・設計を行っている。

現在、SRFによる補強を実施したオフィスビルの8割が、同時に耐震診断を行い、Is値0.6以上を達成している。

加速度的に増える施工事例

SRF工法は、この2005年から本格的な普及が始まったばかりの新しい工法であるが、既に全国で80件の施工実績がある。その内訳は、木造住宅から鉄骨鉄筋コンクリート造のオフィスビル、新幹線の鉄筋コンクリート高架橋までと様々で、施設用途や規模を問わずに施工できるのも特徴だ（図表4参照）。

SRFを実際に施工するのは、構造品質保証研究所(株)とライセンス契約を結んだ、「SRF研究会」の会員企業。同会は、設計部会と施工部会、材料製造会社から構成され、SRF工法の普及、ノウハウの蓄積および技術的問題への対応を目的としている。言い換えれば、会員となれば、どの施工会社でも実施できるため（資格審査が必要）、全国どこからの耐震補強ニーズにも迅速に応えることが可能。現在、会員数は右肩上がり増加中である。

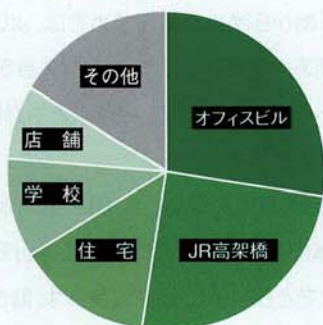
「今年6月に行われた第一回耐震補強フォーラム席上で、北側国土交通大臣は、この10年以内に全日本で住宅、建築物の耐震化9割を目指すことを公表されました。この目標の実現に向けて、補強性能、簡便性、経済性、環境性に優れたSRF工法を役立てていきたいと考えています」（同・五十嵐氏）。

技術的な資料、実験のもよう（動画）等の詳細な情報は、同社ホームページからダウンロードできるので、参照していただきたい。

取材協力、文献・資料・写真提供
構造品質保証研究所株式会社
<http://www.sqa.co.jp/>

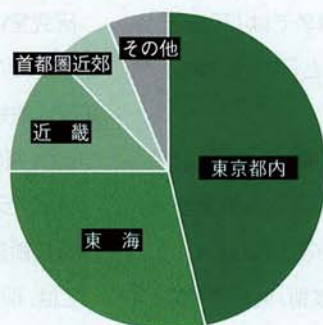
図表4 SRF施工実績（2005年8月現在）

■施設用途別施工実績



施設種別	件数	割合
オフィスビル	22	27.5%
JR高架橋	20	25.0%
住宅	11	13.8%
学校	8	10.0%
店舗	6	7.5%
その他	13	16.3%
合計	80	100.0%

■地域別施工実績



地域名	件数	割合
東京都内	37	46.3%
東海	23	28.8%
近畿	10	12.5%
首都圏近郊	5	6.3%
その他	5	6.3%
合計	80	100.0%

■SRF補強事例②〈柳屋ビルディング（竣工：1964年、規模：地上9階・地下3階、構造：鉄骨鉄筋コンクリート造）〉

