

施工後 23 年を経過した外壁複合改修工法の追跡調査

○ 本吉 竜生*¹ 近藤 照夫*² 天田 裕之*¹
堀 竹市*¹ 渡辺 清彦*¹ 佐々木 聡*¹

1. はじめに

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震を契機として耐震改修促進法が改正されて、全国的に建築物に対する耐震性能の向上や、外装材の耐久性に対する意識が高まり、補修・改修の需要が増加している。

昨今の建築物では、タイル直張り工法が採用されており、補修方法には、タイル部分張替工法やタイル固定工法が適用されている。しかし、劣化原因によっては、補修した部分の周辺で、新たな剥離が発生することも危惧される。そのような背景から、アンカーピンと繊維ネットを用いて、既存の外壁仕上げ層を機械的に固定し、面的に抑えることにより、剥落を防止する外壁複合改修工法に対する関心が一段と高まっている。

当該外壁複合改修工法を適用された建築物の実態調査を2002年から継続して、それらの結果を既に4回にわたって本会大会で報告している^{1)~4)}。

本報では、当該工法が適用されてから23年を経過した建築物に対する破壊試験を含めた調査を実施して、耐久性の定量的な評価を検討している。

2. 施工後 23 年を経過した当該工法の調査

2.1 調査対象

調査対象は、表1に示す千葉県千葉市に所在する地上7階の鉄筋コンクリート造集合住宅である。

表1 調査対象の建築物

名称	D 団地
用途	集合住宅
竣工年月	昭和46年11月
改修年月	平成3年9月
構造・規模	鉄筋コンクリート造・地上7階、2棟
改修前外装仕上げ	磁器質モザイクタイル張り
改修後外装仕上げ	つや有合成樹脂エマルジョンペイント塗り

2.2 調査方法

図1に示すD団地1号棟と2号棟の外壁面を目視調査し、東西南北の壁面に仮設足場を設置して、打音調査及びファイラーやアンカーピンの引張試験を実施する。さらに、採取した繊維ネットの引張試験を実施する。

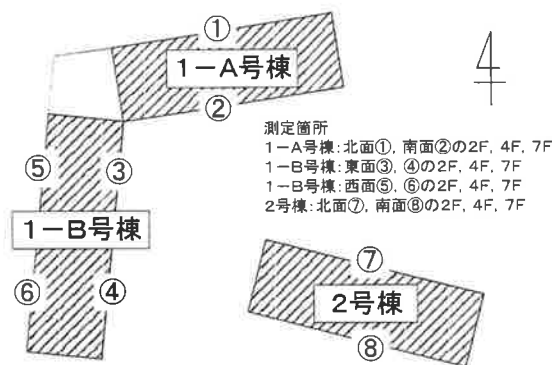


図1 調査対象の建築物の概略平面図

使用した材料の物性値は既報²⁾に示すとおりであり、材料ごとの調査方法は以下のとおりである。

a. ファイラー

当該工法の施工面に40×40mmの鋼製アタッチメントをエポキシ樹脂で張付け、硬化後にダイヤモンドブレード付きディスクサンダーを用いて、アタッチメント周囲をモルタル仕上げ面に達する深さまで切断する。引張試験には、日本建築仕上学会認定引張試験器(サンコーテクノ(株)R-10000ND)を適用して、引張強さは最大荷重を面積(1,600mm²)で除した値を求める。1-A号棟は北面①と南面②、1-B号棟は東面③④、西面⑤⑥、2号棟は北面⑦と南面⑧において、2、4、7階の各箇所(n=3)で測定する。

b. アンカーピン

a.に記したファイラーの引張試験が終了した後、アンカーピン頭部にドリルスクリュー(サンコーテクノ(株)HEX-5×25)をねじ込み、上記の引張試験器を用いて、引張最大荷重を測定する。

c. 繊維ネット

a.に記したファイラーの引張試験の近傍から、ファイラー層に埋め込まれている繊維ネットをできる限り傷付けないように採取して、損傷が少ない部分から100mmを切り出して試料とする。インストロン万能試験機を用いて、JIS L 1031 化学繊維フィラメント試験法 8.5 引張試験に準じ、チャック間距離 20mm、クロスヘッド速度 20mm/分の条件で採取試料を引張り、繊維が破断された時の引張最大荷重と伸び率を測定する。試験は5回実施して、その平均値と標準偏差を求める。

Follow-up survey for renewed external walls by application of net overlaying and anchoring

MOTOYOSHI Tatsuo*¹, KONDO Teruo*², AMADA Hiroyuki*¹
HORI Takeshi*¹, WATANABE Kiyohiko*¹, SASAKI Satoshi*¹

3. 調査結果と考察

3.1 目視調査

西・北面の手摺壁はスパン(柱間)が約 6m であり、垂直方向のほぼ等間隔に表面的なひび割れが発生している。また、東・南面の手摺壁では開口部周りに、斜め方向のひび割れが散見される。一方、当該工法が未施工である西・北面の手摺壁天端では、金属部材の取付け部から生じたと推察されるひび割れや剥れ、欠損が各階で見られる。また、1 階のバルコニー床上げ裏面には、剥れや欠損が散見される。特に、東面と南面にはこのような現象が多く、南面 1 階ではほぼ全面にわたって剥れや欠損が見られる。

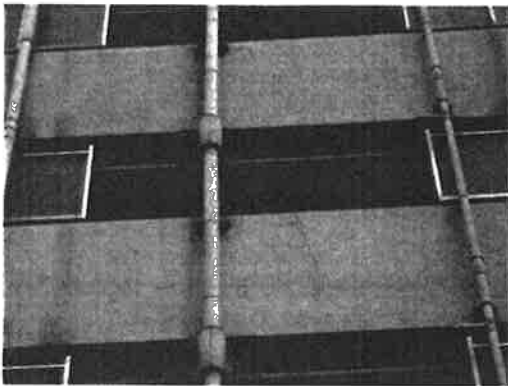


写真1 ひび割れの状況

3.2 打音調査

東・西・南面では全体的に多数の浮きが確認され、日射熱の影響によるムーブメントが浮きの発生を促進していると推察される。特に、東面や南面では、500×500mm を超える面積で浮きを生じており、その発生は 4～7 階に集中している。

3.3 使用材料の評価

(1) フィラーの引張強さ

1 号棟で測定されたフィラーの引張強さを表 2 に、2 号棟のフィラーの引張強さを表 3 に示す。表中に用いた破断位置の表示記号は、図 2 に示すとおりである。

測定されたフィラーの引張強さは施工後 23 年を経過しても、公共建築改修工事標準仕様書 平成 25 年版⁵⁾で規定される陶磁器質タイル張りの引張接着強度基準である 0.4N/mm² 以上の値を十分に満足している。2 号棟南面⑧7 階の No.3 は、浮きが生じている箇所の周辺であり、引張強さの測定値が低くなっている。

2006 年に実施された当該建築物の調査結果²⁾と比較しても、経年による明らかな変化は認められない。

(2) アンカーピンの引張強さ

1 号棟で測定されたアンカーピン引張強さを表 4 に、2 号棟の引張強さを表 5 に示す。引張試験においては、引張強さの最大荷重を測定するため、アンカーピンもしくはドリルスクリューが抜けるまで荷重を負荷している。

表 2 フィラーの引張強さ(1-A 号棟南面②・1-B 号棟東面③)

階	No	最大荷重 (N)	引張強さ (N/mm ²)	平均値 (N/mm ²)	破断位置と破断の割合 (%)
②7	1	5,036	3.15	2.64	C 上 100
	2	5,062	3.16		C 上 100
	3	2,577	1.61		B1/B2 100
②4	1	2,922	1.83	1.55	C 上 100
	2	1,929	1.21		C 下 100
	3	2,567	1.60		B1/B2 100
②2	1	3,444	2.15	1.57	C 上 100
	2	2,105	1.32		C 下 100
	3	1,997	1.25		C 上 100
③7	1	2,282	1.43	2.09	C 下 100
	2	4,029	2.52		C 上 100
	3	3,729	2.33		C 上 100
③4	1	4,309	2.69	2.63	C 上 100
	2	4,018	2.51		C 下 100
	3	4,275	2.67		C 下 50 B2/C 50
③2	1	3,640	2.28	2.14	C 上 100
	2	2,999	1.87		C 上 100
	3	3,653	2.28		C 下 70 B1/B2 30

表 3 フィラーの引張強さ(2号棟南面⑧)

階	No	最大荷重 (N)	引張強さ (N/mm ²)	平均値 (N/mm ²)	破断位置と破断の割合 (%)
⑧7	1	3,935	2.46	1.50	C 上 100
	2	1,973	1.23		B1/B2 100
	3	1,279	0.80		C 下 100
⑧4	1	3,796	2.37	2.26	B1/B2 60 A 40
	2	4,798	3.00		C 上 100
	3	2,263	1.41		B1/B2 100
⑧2	1	5,360	3.35	2.11	C 上 100
	2	2,845	1.78		C 上 100
	3	1,946	1.22		C 上 75 B1/B2 25

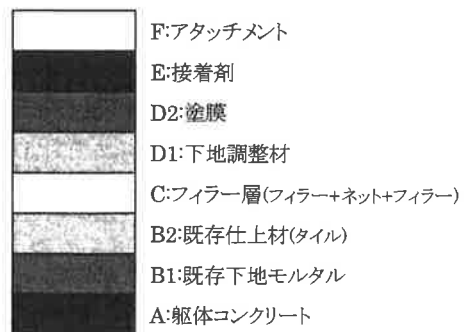


図 2 破断位置の表示記号

施工後 23 年を経過したアンカーピンの引張強さは、公共建築改修工事標準仕様書平成 25 年度版⁵⁾で、規定される注入口付アンカーピン 1 本あたりの基準である 1,500N 以上の値を十分に満足している。

表 4 アンカーピンの引張強さ(1-A号棟南面②・1-B号棟東面③)

階	No	1,500N 時 ピン抜け	最大荷重 (N/本)	平均 (N/本)	最終状況
②7	1	なし	6,947	7,236	ビス抜け
	2	なし	7,274		ビス抜け
	3	なし	7,488		ビス抜け
②4	1	なし	9,165	9,582	アンカー抜け
	2	なし	10,344		アンカー抜け
	3	なし	9,237		アンカー抜け
②2	1	なし	8,422	9,030	ビス抜け
	2	なし	9,248		アンカー抜け
	3	なし	9,419		アンカー抜け
③7	1	なし	9,943	8,138	アンカー抜け
	2	なし	6,493		アンカー抜け
	3	なし	7,979		アンカー抜け
③4	1	なし	8,179	8,376	アンカー抜け
	2	なし	8,788		アンカー抜け
	3	なし	8,161		アンカー抜け
③2	1	なし	9,255	9,384	アンカー抜け
	2	なし	9,910		アンカー抜け
	3	なし	8,986		アンカー抜け

表 5 アンカーピンの引張強さ(2号棟南面⑥)

階	No	1,500N 時 ピン抜け	最大荷重 (N/本)	平均 (N/本)	最終状況
⑧7	1	なし	7,067	6,971	ビス抜け
	2	なし	6,871		ビス抜け
	3	なし	6,975		ビス抜け
⑧4	1	なし	6,229	7,320	ビス抜け
	2	なし	7,244		アンカー抜け
	3	なし	8,486		アンカー抜け
⑧2	1	なし	6,660	7,192	ビス抜け
	2	なし	7,908		アンカー抜け
	3	なし	7,009		アンカー抜け

(3) 繊維ネットの引張試験

繊維ネットの方位別の最大引張荷重を表 6 に、伸び率を表 7 に、棟別の最大引張荷重を表 8 に、伸び率を表 9 に示す。

方位別にみると、繊維ネットの最大引張荷重は保管品に対して、東面と南面が 5% 有意で増加しており、西面と北面では有意差が認められない。また、保管品に対する伸び率は、西面と南面は 5% 有意で、北面は 1% 有意で低下しているが、東面については有意差が認められない。

表 6 繊維ネットの最大引張荷重(方位別)

試料	n 数	平均値 (N)	標準偏差 (N)	変動係数 (%)
保管品	5	134(-)	14.5	10.8
東	30	153*(114%)	16.4	10.7
西	37	144(107%)	20.7	14.4
南	26	156*(116%)	11.5	7.3
北	30	136(101%)	22.0	10.8
全体	123	146(109%)	22.1	15.2

表 7 繊維ネットの伸び率(方位別)

試料	n 数	平均値 (%)	標準偏差 (%)	変動係数 (%)
保管品	5	14.7(-)	2.15	14.7
東	30	14.2(97%)	1.33	9.4
西	37	12.5*(85%)	2.30	18.3
南	26	13.0*(88%)	1.93	14.9
北	30	10.4**(71%)	1.54	14.8
全体	123	12.4*(84%)	2.37	19.0

注. 保管品との有意差:*有意水準 5%、**有意水準 1%
()内は保管品に対する比率を示す。

表 8 繊維ネットの最大引張荷重(棟別)

試料	n 数	平均値 (N)	標準偏差 (N)	変動係数 (%)
保管品	5	134(-)	14.5	10.8
1号棟	92	145(108%)	20.0	14.0
2号棟	31	153*(114%)	17.3	11.3
全体	123	146(109%)	22.1	15.2

表 9 繊維ネットの伸び率(棟別)

試料	n 数	平均値 (%)	標準偏差 (%)	変動係数 (%)
保管品	5	14.7(-)	2.15	14.7
1号棟	92	13.0(88%)	2.13	16.5
2号棟	31	11.2*(76%)	2.16	19.0
全体	123	12.4*(84%)	2.37	19.0

注. 保管品との有意差:*有意水準 5%、**有意水準 1%
()内は保管品に対する比率を示す。

棟別にみると、1号棟では最大引張荷重に有意差が認められないが、2号棟は 5% 有意で増加している。また、保管品に対する伸び率は、1号棟では有意差が認められず、2号棟は 5% 有意で低下している。

最大引張荷重と伸び率の関係は、図 3 に示すように相関係数 $R^2=0.5633$ となり、現場における実測値としては相関性が見られる。また、図 4 に示す最大引張荷重の分布は正規分布ではなく、左側に隔たりが見られ、図 5 に示す伸び率の分布については二つの山が見られ、データを層別して検討する必要がある。

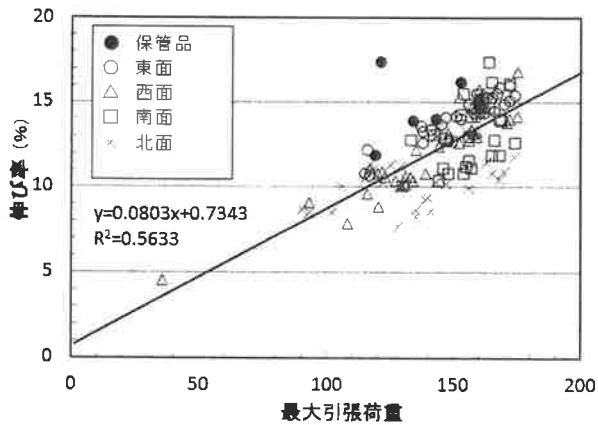


図3 最大引張荷重と伸び率の関係

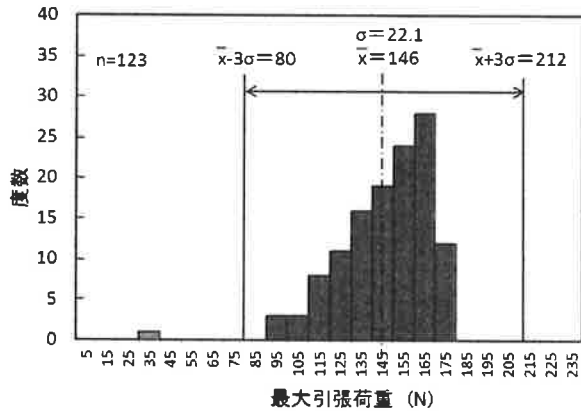


図4 最大引張荷重の分布

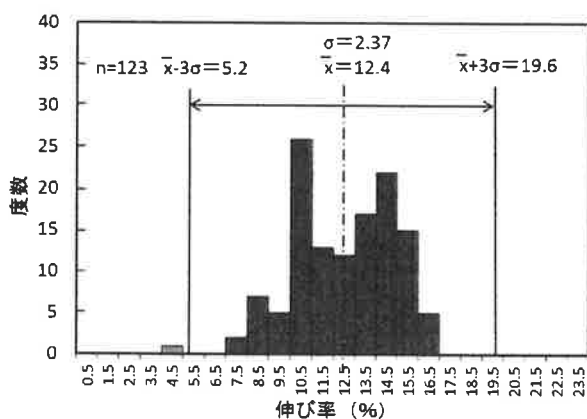


図5 伸び率の分布

施工後23年を経過した建築物から採取した繊維ネットの引張荷重は増加の傾向を示す一方で、伸び率は低下の傾向を示している。したがって、繊維に添加されている可塑剤の消失や性能低下等により、硬く脆くなっていると推定される。

しかし、既報^{1)~4)}でも述べているように、引張試験用の繊維ネットの採取が困難であることも考慮すると、当該工法の使用材料に対する要求性能は、未だ十分に満足していると判断できる。

また、耐久性の評価には、今後も継続的な調査が必要であると考えられる。

4. まとめ

当該工法を適用して23年を経過した建築物の外観調査とともに、適用されている材料の調査をした結果から、以下のようなことがいえる。

- (1) フィラーの引張強さの平均値は、陶磁器質タイル張りの引張接着強度の基準値である0.4N/mm²以上を十分に満足している。また、破断位置は大部分がフィラー層の凝集破断であり、接着性には問題がないと判断できる。
- (2) アンカーピンの引張強さの平均値は、注入口付アンカーピン1本あたりの基準値である1,500N以上を満足しており、経年による性能の低下はないと判断できる。
- (3) 現場で採取された繊維ネットは保管品と比較すると、最大引張荷重は増加の傾向がある一方で、伸び率が低下の傾向を示しており、硬く脆くなっていると推定される。しかし、繊維ネットの採取による損傷も考慮すると、当該工法における要求性能は未だ満足していると判断できる。

以上のような結果から、当該工法は施工後23年を経過しても、十分な性能を有していると判断できる。今後も継続的な調査をして、当該工法の耐久性や信頼性に関するデータを蓄積して、検討をしていく予定である。

【謝辞】

現地調査には、執筆者以外にも多くの全国ビルリフォーム工事業協同組合の方々が参加されており、記して謝意を表する。

【参考文献】

- 1) 渡辺清彦ほか：外壁複合改修工法の実態調査に基づく耐久性評価，日本建築仕上学会 2005 年大会学術講演会研究発表大会論文集，p.163~p166 (2005)
- 2) 天田裕之ほか：外壁複合改修工法の耐久性に関する検討，日本建築仕上学会 2007 年大会学術講演会研究発表大会論文集，p.171~p174 (2007)
- 3) 諸橋強正ほか：外壁複合改修工法の耐久性とLCCの検討，日本建築仕上学会 2011 年大会学術講演会研究発表大会論文集，p.41~p44 (2011)
- 4) 堀竹市ほか：外壁複合改修工法の開発経緯と実態調査，日本建築仕上学会 2012 年大会学術講演会研究発表大会論文集，p.155~p158 (2012)
- 5) 国土交通省大臣官房官庁営繕部監修：建築改修工事監理指針平成25年度版，(一財)建築保全センター (2013)

*1 全国ビルリフォーム工事業協同組合

*2 ものつくり大学 名誉教授 博士 (工学)