集成材に埋め込んだ樹脂カプセルアンカーの引き抜き実験

PULL-OUT TESTS OF GLUE CAPSULE ANCHOR EMBEDDED IN GLUED LAMINATED LUMBER

信澤宏由 — *1 定方 啓 — *2

Hiroyoshi NOBUSAWA — *1 Kei SADAKATA — *2

キーワード:

樹脂カプセルアンカー, 引抜き耐力, 付着面積, 集成材, ボルト引張強度, 穿孔寸法

Keywords:

Glue capsule anchor, Pull-out strength, Bore hole diameter, Glued laminated lumber, Adhesive area, Tensile strength of bolt

This paper is concerned with uses of chemical anchor for the glued laminated lumber. The anchor bolt is fixed in the base material by using capsules filled with an adhesive. A newly developed two liquid type adhesive was used. The variables in this research are the bolt diameter, length of anchorage and anisotropy of glued laminated lumber. The proof strength and destruction mechanism of this system have been clarified and empirical formulas proposed. These results are to be applied to the large beam to column joint and the column to base joint.

1. はじめに

木質構造の設計において、柱-梁接合部や柱脚部の接合方法は最も重要な部分である。本研究はこれまでコンクリートメーソンリーやコンクリート構造物の改修、補強等に使用されている、あと施工アンカーを木質構造に適用することで、接合部の耐力および施工の迅速性、確実性を増す方法を研究したものである。過去の研究で、樹脂カプセルアンカーを集成材に適用し、その可能性を得ることが出来た。^{1), 2)} 本研究は、それを更に発展させ、集成材に樹脂カプセルアンカーを使用した場合のボルト径、アンカー埋め込み長さ、集成材への方向性等の因子変動による耐力、破壊機構を実験によって明確にし、耐力算定式を提案するものである。

2. 引抜き試験概要

2.1 樹脂カプセルアンカー

現在、あと施工アンカーは、金属拡張系アンカーと接着系アンカーとに大別される³⁾が、本実験で採用したアンカーは、木質構造への支持耐力の信頼性および施工性能の良さから、接着系アンカーの一種である樹脂カプセルアンカーを使用した。その形状は図1に示す。これは、管状ガラス管にビスフェノール系不飽和ポリエステル樹脂、硬化剤および焼成骨材を収容しカプセル状にしたもので、上記二種類の接着剤を混合することでアンカーボルトを母材内に固着するシステムである。

その施工方法は、ボルト孔の穿孔、清掃およびカプセル挿入後、ボルトによる攪拌を行うことで、二つの接着剤および焼成骨材で硬化させるものである。樹脂カプセル施工方法を図2に示した。アン

図1 樹脂カプセルの形状

1.穿孔 2.清掃 3.カプセル挿入 4.攪拌・固着 5.硬化養生

図2 樹脂カプセルの施工方法

図3 アンカー埋め込み方向

*1 前橋工科大学 教授・工博
(〒371-0816 前橋市上佐島町460)

*2 前橋工科大学 教授・工博

*1 Prof., Maebashi Institute of Tech., Dr. Eng.

*2 Prof., Maebashi Institute of Tech., Dr. Eng.

図4 引抜き試験装置

カー筋の先端形状は施工性の良さから45°カットを使用した。また、集成材への食い込み効果を期待し、樹脂に反応する硬化剤に焼成骨材加えるタイプの樹脂カプセルアンカーを使用した。

表1 試験体仕様及び試験結果

ボルト		樹脂カプセル		穿孔深さ		付着面積 A' (mm ²)	埋め込み 方向	試験体名	試験結果			最大荷重 平均値 (kgf)	付着応力 度平均値 (kg/mm ²)
規格	径 (mm)	径 (mm)	長さ (mm)	直径 (mm)	深さ (mm)				最大荷重kgf(付着応力度kg/mm ²)・破壊モード				
									NO.1	NO.2	NO.3		
M10	10	10.5	50	12	50	1890	X	M10- 50-X	1530(0.81)・P	1590(0.84)・P	1710(0.91)・P	1610	0.86
							Y	M10- 50-Y	1950(1.04)・P	2020(1.07)・P	2060(1.09)・P	2010	1.07
							Z	M10- 50-Z	1650(0.87)・P	1570(0.83)・P	1320(0.70)・P	1510	0.80
			100		100	3770	X	M10-100-X	3110(0.82)・Y	2910(0.77)・Y	3170(0.84)・Y	3070	0.81
							Y	M10-100-Y	3130(0.83)・B	3090(0.82)・Y	3170(0.84)・Y	3130	0.83
							Z	M10-100-Z	2930(0.78)・P	2350(0.62)・P	2580(0.68)・P	2620	0.69
			150		150	5650	X	M10-150-X	3170(0.56)・B	3120(0.55)・B	2820(0.50)・D	3040	0.54
							Y	M10-150-Y	3160(0.56)・B	3120(0.55)・B	3150(0.56)・B	3150	0.56
							Z	M10-150-Z	3170(0.56)・B	3200(0.57)・B	3170(0.56)・B	3180	0.56
M12	12	13.0	60	15	60	2830	X	M12- 60-X	2680(0.95)・P	3110(1.10)・P	2410(0.85)・P	2730	0.97
							Y	M12- 60-Y	2670(0.95)・P	2450(0.87)・P	2440(0.86)・P	2520	0.89
							Z	M12- 60-Z	2230(0.79)・P	1760(0.62)・P	1430(0.50)・P	1800	0.64
			120		120	5650	X	M12-120-X	4500(0.79)・B	4380(0.77)・P	4610(0.81)・B	4490	0.79
							Y	M12-120-Y	4060(0.72)・P	4120(0.73)・P	4480(0.79)・B	4220	0.75
							Z	M12-120-Z	4250(0.75)・Y	4470(0.79)・Y	4650(0.82)・Y	4460	0.79
			180		180	8480	X	M12-180-X	4700(0.55)・B	4540(0.53)・B	4580(0.54)・B	4610	0.54
							Y	M12-180-Y	4400(0.52)・B	4590(0.54)・B	4390(0.52)・B	4460	0.53
							Z	M12-180-Z	4620(0.54)・B	4540(0.53)・B	4650(0.55)・B	4600	0.54
M16	16	16.5	80	19	80	4780	X	M16- 80-X	5150(1.08)・P	4900(1.03)・P	4950(1.04)・P	5000	1.05
							Y	M16- 80-Y	4830(1.01)・P	4140(0.87)・P	4140(0.87)・P	4370	0.91
							Z	M16- 80-Z	4260(0.89)・P	4080(0.85)・P	4570(0.96)・P	4300	0.90
			160		160	9550	X	M16-160-X	9020(0.94)・Y	9010(0.94)・Y	9390(0.98)・Y	9140	0.96
							Y	M16-160-Y	8380(0.88)・Y	7500(0.78)・P	8900(0.93)・Y	8260	0.86
							Z	M16-160-Z	8880(0.93)・Y	8700(0.91)・P	8230(0.86)・P	8600	0.90
			240		240	14330	X	M16-240-X	9310(0.65)・B	9500(0.66)・B	9510(0.66)・B	9440	0.66
							Y	M16-240-Y	9380(0.65)・B	9220(0.64)・B	9620(0.67)・B	9400	0.66
							Z	M16-240-Z	9220(0.64)・B	9600(0.67)・B	9520(0.66)・B	9450	0.66

2.2 試験体

試験体の仕様および試験体名を表1に示す。実験したボルトはM12, M16の他に、過去の実験結果に連続性をもたせるためにM10の実験も行った。ボルトのアンカー長さは最近の傾向からボルト径の5倍(5d)、10倍(10d)、15倍(15d)とし、集成材に異方性があることから、それによる影響を調べるために、図3に示すように繊維に直角の方向(X方向)、ラミナに直角の方向(Y方向)、繊維方向(Z方向)とし、これら3方向について実験を行った。さらに、試験値のばらつきを考慮して、同じ条件の試験体をそれぞれ3個づつ行うこととした。

採用した樹脂カプセルアンカーのカプセルの寸法は、使用するアンカーボルトと埋め込み深さによって異なり、それらの寸法も表1に示した。ボルトは全ねじボルトを使用し、ボルトの先端は、カプセルの攪拌が十分に行われるように45°にカットした。ボルトの材質はSS400を使用し、引張強度はM10が3,158kgf(322N)、M12が4,556kgf(465N)、M16が9,431kgf(962N)である。試験体母材はベイマツ集成材でラミナ厚35mm、断面寸法120mm×240mmの柱材を用いた。含水率は約13%、圧縮強度(繊維方向)は、568kgf/cm²(55.7N/mm²)である。なお、Z方向の試験体については、上記柱材を約24cmに切断したものを試験体とし、一つの断面に一本ずつボルトを埋め込み、その他の方向については1mの試験体に30cm間隔でボルトを埋め込んだ。

2.3 施工方法

施工方法は、図1に示した。施工手順は以下の通りで、鉄筋コンクリート用に定められた方法に準じて行った。①母材(集成材)に所定の寸法の穿孔を行う。②孔内の切りくずを取り除く。③所定の樹脂カプセルを孔内に挿入する。④ボルトを電動ドリルに取り付け

カプセルを攪拌、混合しながら孔の底まで埋め込む。⑤所定の時間養生する。なお、樹脂アンカーは30分程度で硬化するが、アンカー強度の信頼性を増すために原則として1日経過後、試験した。

2.4 試験方法

試験は、図3に示す試験装置で行った。荷重の測定はロードセルでおこない変位の測定は、ボルトの引抜き量を測定する電気式変位計を図のようにボルトの先端に取り付けた。载荷プログラムは、一方向単調加力とした。なお、試験装置の母材へのめり込み量を載加板に取り付けた2個の変位計で計測し、その相加平均値と試験体からロードセル上端までのボルトの伸びを補正し、引抜き量とした。

3. 試験結果と考察

3.1 試験結果

表1に各試験体の試験結果を示す。表1および図5～7の試験体名の記号は、ボルト径－アンカー長さ（mm）－集成材に対するボルトの方向を示す。あと施工アンカーの引き抜き試験の破壊モードは、ボルトの抜け出し、ボルトの引張破断、ボルト降伏後のボルト抜け出しのいずれかとなるが、ボルトの抜け出し破壊がボルトの引張破断に変化する点を引抜き分岐点と名づける。

引き抜き試験破壊モードの記号はそれぞれ、P：ボルトの抜け出し、B：ボルトの引張破断、Y：ボルト降伏後のボルト抜け出し、D：施工不良、接着不良を示す。試験体の各グループごとの代表的なP－Δ曲線を図5～7示す。

X、Y、Z方向、いずれのアンカーボルトの埋め込み方向、ボルト径においても、アンカー長さが5 d 場合は、ボルトの抜け出し破壊、15 d ではボルトの引張破断による崩壊であった。また、Z方向（繊維方向）は、他の2方向に比べ引抜き分岐点以下では、最大耐力後急激に強度が低下している。アンカー長さが10 d 場合は、アンカーボルトの埋め込み方向、ボルト径で様々な破壊モードを示しており、それぞれの破壊モードの境界値の様相を呈している。

3.2 考察

表1より、いずれのアンカーボルトの方向、ボルト径においてもアンカー長さが5 d では、ボルトの抜け出し破壊、15 d では、ボルトの引っ張りによる破断である。すなわち、アンカーの十分な埋め込み深さと適切な樹脂容量があればボルトが引張強度に達しても埋め込み部が抜け出さないことが確認された。

図8～10にアンカーの付着面積と引抜き強度の関係をアンカーの埋め込み方向別に示す。引抜き分岐点以下の付着面積と引抜き強度の関係を回帰分析により求め関係式を以下に示した。ただし、これらの式適用には集成材の繊維方向の圧縮強度が、568kgf/cm² (55.7N/mm²) 以上必要である。

なお、関係式において

y：引き抜き強度(kgf)

X：付着面積(mm²)

R：回帰分析における重相関係数の値

図5 M10ボルトP－Δ曲線

図6 M12ボルトP－Δ曲線

図7 M16ボルトP－Δ曲線

図8 X方向付着面積と引抜き強度

図9 Y方向付着面積と引抜き強度

図10 Z方向付着面積と引抜き強度

M10～M16は、使用するボルトの直径を示す。

X方向	M10	$y=0.772x+158$	($R=0.992$)	(1)
	M12	$y=0.622x+976$	($R=0.971$)	(2)
	M16	$y=0.867x+860$	($R=0.997$)	(3)
Y方向	M10	$y=0.594x+892$	($R=0.998$)	(4)
	M12	$y=0.600x+827$	($R=0.984$)	(5)
	M16	$y=0.814x+480$	($R=0.972$)	(6)
Z方向	M10	$y=0.587x+404$	($R=0.943$)	(7)
	M12	$y=0.937x-844$	($R=0.981$)	(8)
	M16	$y=0.901x-0.333$	($R=0.994$)	(9)

これらのグラフは、図8～10に示した。

今回の実験では、回帰分析における重相関係数の値は良好な結果が得られた。

アンカーが何dを限度にその分岐点に達するかを上記(1)～(9)により算定すると、X方向は10.2d～10.4d、Y方向は10.0d～11.5d、Z方向は10.2d～12.9dとなった。

図8～10において同じ付着面積に対して直径の大きい方が引抜き耐力が大きい。これは引抜き強度が引っ張り力によりボルト径が減少することで耐力が決定してくることにその要因があると考えられる。今回の実験でM12は、予測したよりも耐力が得られなかったがこれは樹脂容量が影響しているものと考えられる。

ボルト径に対する適切な樹脂容量を検討するために、引抜き分岐点以下の埋め込み長さ5dにおける付着応力度を調べてみると、X、Y、Z3方向の平均で穿孔直径/ボルト径の比が5%減少で15%の付着強度の上昇が認められた。今回の実験ではM12が穿孔直径/ボルト径の比が大きかったために、一部耐力低下を生じたものと推測される。

これら樹脂カプセルアンカーを使って先行して実施した梁接合部、柱梁接合部、壁脚部の実験⁽²⁾において、いずれも十分な引抜き耐力が得られている。

4. まとめ

本研究で分かったことをまとめると次のようになる。

- ① ボルトの埋め込み長さがM10(引張強度3,158kgf)で11d以上、M12(引張強度4,556kgf)で12d以上、M16(引張強度9,431kgf)で13d以上あれば終局引抜き耐力はボルトの引張強度となる。
- ② 引抜き分岐点までは、ボルト引張による抜けだし破壊であり埋め込み長さを増せば引抜き耐力は上昇する。
- ③ 集成材の繊維方向の圧縮強度、568kgf/cm²(55.7N/mm²)以上の材に対し引抜き分岐点以下における引抜き強度実験式を示した。
- ④ 集成材のもつ異方性の引抜き耐力への影響は、分岐点以下の場合繊維方向の耐力が他の2方向に比べやや耐力が小さく、最大強度後の強度低下が激しかった。

5. あとがき

従来より太いアンカーボルトの使用および改良された樹脂カプセルアンカーの集成材構造への利用でボルトが引張強度に達しても埋め込み部が抜け出さない好結果が得られた。最後に、研究に際し試験体および製作を株式会社吉原社長吉原俊男氏に、樹脂カプセルアンカーを日本デコラックス株式会社(部長、丹羽亮氏)に提供していただいた。ここに心から謝意を表します。

参考文献

- 1) 定方啓、山田康成、朝山和佳、丹羽 亮、松下武憲：集成材を用いた柱-梁接合部における耐力と履歴特性について(その2) 樹脂アンカーの引抜き試験と柱-梁接合部実験)、日本建築学会東海支部研究報告pp. 209～212, 1989.2
- 2) H.Nobusawa, K.sadakata: Glue-Capsule Anchor Technique to The Metal Box Type Beam to Column Joint, Proceeding of 5th World Conference on Timber Engineering pp.840～841, 1998.8
- 3) 広沢雅也、松崎育宏：あと施工アンカー設計・施工読本-初歩から応用まで-、建築技術, 1991.12

[1998年10月20日原稿受理 1999年2月8日採用決定]