

屋根トラスの長期荷重試験 (第2報)

米田昌世 丸山 武
堀江秀夫 長谷川 雅浩
伊藤勝彦*

The Long-Term-Load Testing of Roof Trusses ()

Masatoshi YONEDA Takeshi MARUYAMA
Hideo HORIE Masahiro HASEGAWA
Katsuhiko ITO

The tested trusses which had a span of 5.4 meters and a slope of 4/12, were fabricated of nailed plywood gusset plates (N), nailed and glued plywood gusset plates (G), and metal plates called gangnails (M). The lumber used for these trusses was 204 Yezomatsu, *Picea jezoensis* Carr. To simulate a snow load, the trusses were placed under a constant load of concrete blocks for 120 days, after which the load was removed. Then, when the recovery from the deflection ceased, they were loaded with the blocks again. This paper reports on the lower-chord-midspan deflection and creep characteristics of the trusses. Here is a summary of the report:

(1) The ratios of the lower-chord deflection to the span just before the load was removed in the seventh cycle were found to be 1/425 with N, 1/505 with M, and 1/915 with G. Neither the members nor the joints showed any displacement and failure which would do damage to the construction.

(2) It was estimated that in the 21th cycle the N-truss would reach a maximum deflection of $1/300 \times \text{span}$, and in the 68th cycle the M-truss would reach the same deflection, while the deflection of the G-truss would be approximately 1/740 even in the 100th cycle.

(3) Since the long-term performance of a truss is restricted by the deflection which in turn is affected greatly by the displacement of a joint, creep tests of a single joint will be necessary.

間口5.4m, こう配4/12のエゾマツ204材による合板ガセット釘打ち(N), 合板ガセット接着(G), 及びメタルプレート(ギヤングネイル)(M)接合の各トラスを用いて, 長期荷重試験を行った。

雪荷重として, 建築用ブロックを載荷し, 120日(積雪期)経過後除荷することとした。除荷後, 変位の回復がほぼ停止した時点で再び載荷し, このサイクルをくり返した。本報ではトラス下弦中央部のたわみとクリープ特性について報告する。結果を要約すると以下のとおりである。

- (1) 7サイクル時におけるN, M, G各トラスのたわみをスパン比で表すと, それぞれ1/425, 1/505, 1/915であり, 実用上問題となるような点は認められない。
- (2) 長期のたわみを推定すると, Nトラスは21サイクル, Mトラスは68サイクル時にスパン比1/300に達する。一方, Gトラスは100サイクル時でも1/740程度におさまる。
- (3) トラスの長期耐力は, たわみの方から制限されることが多いものと思われる。また, たわみは接合部の変位に大きく影響されるため, 今後は, 長期耐力を予測するため, 接合部についてのクリープ試験を行う必要がある。

1. はじめに

接合工法のことなる3種の屋根トラスについて, 積雪1mを想定した長期荷重試験を行った。載荷(積雪期)4カ月と除荷4カ月(変位の回復がほぼ停止する期間)を1サイクルとし, 4サイクルまでの結果については前報¹⁾で報告した。当初10サイクルを行う予定であったが, 7サイクル終了までの結果からトラスのクリープ特性が明らかになり, 長期耐力の予測が可能と判断されたので, この条件による試験は今回で終了することとした。

本報では, 前回までの結果を含めてトラスの変位とクリープ特性について報告する。

2. 試験方法

供試トラスおよび荷重条件などの詳細は前報¹⁾のとおりである。たわみの測定はダイヤルゲージ(精度: 1/100mm)を用い, トラスの頂点, 下弦材中央部のほか数点について行った。なお, 試験期間中の実験室の温湿度は, 温度: -15 ~ +30, 相対湿度: 35% (冬季の暖房時) ~ 95%の広い範囲にわたった。

3. 試験結果と考察

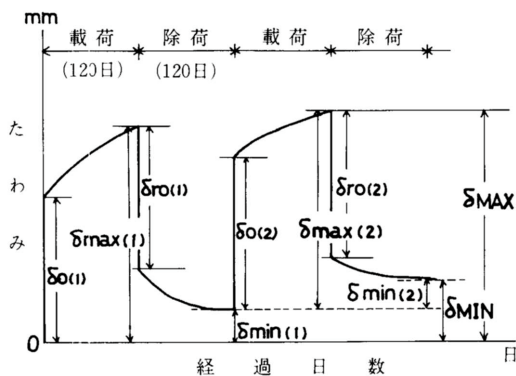
3.1 下弦材中央部のたわみ推移

トラスとして実用上問題となる下弦材中央部のたわみについて述べる。クリープたわみの模式図を第1図に, また各サイクルごと及び累積の実測たわみを第1

表に示した。表中のN, M, Gはそれぞれ合板ガセット釘打ち接合トラス, メタルプレート(ギヤングネイル)接合トラス, 合板ガセット釘打ち接着接合トラスを表している。

各サイクルごとの載荷4カ月後における最大たわみ(max)はMトラスが約7mmと大きく, 次いでNトラスが約6mmを示し, Gトラスは約4mmと最も小さい。一方, 残留たわみ(min)については, Nトラスが大きく, 特に第1サイクル終了時点には, 釘接合の性質(接合部のすべり)²⁾が顕著に認められ, 約2.8mmを示した。2サイクル以降, Nトラスは平均で約0.8mm, Mトラスは約0.6mmを示し, Gトラスは約0.2mmと非常に小さく, 回復性の良さを示している。

NトラスとMトラスの累積たわみを比較すると, 前



第1図 クリープたわみの模式図

第1表 たわみの一覧表 (実測値, $\times 10^{-2}mm$)

トラス	サイクル数	各サイクルごとのたわみ				累積たわみ		回復率 (%)
		瞬間 (弾性) δ_o	最大 δ_{max}	瞬間回復 δ_{ro}	残留 δ_{min}	最大 δ_{MAX}	残留 δ_{MIN}	
N	1	382	660	320	281	660	281	57
	2	432	657	360	155	938	436	54
	3	446	597	395	105	1033	541	48
	4	500	556	434	48	1097	589	46
	5	415	559	357	5	1148	594	48
	6	478	570	417	52	1164	646	45
	7	483	626	405	91	1272	737	42
M	1	456	703	522	98	703	98	86
	2	514	723	486	59	821	157	81
	3	552	716	554	83	873	240	73
	4	669	728	595	66	968	306	68
	5	598	715	513	41	1021	347	66
	6	532	701	496	18	1048	365	65
	7	480	707	502	78	1072	443	59
G	1	317	427	336	49	427	49	89
	2	288	427	325	23	476	72	85
	3	314	391	319	40	463	112	76
	4	354	392	346	22	504	134	73
	5	309	374	251	28	508	162	68
	6	293	335	292	0	497	161	68
	7	287	424	367	7	585	168	71

a) $(1 - \delta_{MIN} / \delta_{MAX}) \times 100$ (%)

者は各サイクルごとの最大たわみは小さいにもかかわらず、残留たわみは大きく、この結果Nトラスの方が大きくなった。7サイクル時の累積最大たわみ (δ_{MAX}) は、Nトラスが12.7mm, Mトラスが10.7mm, Gトラスは5.9mmで、これはスパン5.4mに対してそれぞれ1/425, 1/505, 1/915のたわみとなった。したがって、1サイクル時のスパン比N:1/800, M:1/700, G:1/1,240¹⁾と比べると、それぞれ1/1.9, 1/1.4, 1/1.4だけ剛性が低下したことになる。しかし、現時点においては、部材、接合部に構造耐力上有害な変形、破損は一切認められていな

い。

3.2 トラスのクリープ特性

第1表の数値をもとに、各トラスのクリープ特性を求めると以下ようになる。例えば第1サイクルについて - たわみの経過の詳細は前報¹⁾第1図参照 - クリープたわみ (全たわみ - 瞬間たわみ) と経過日数との関係を両対数にプロットしたのが第2図である。このように高い相関 ($r: 0.98 \sim 0.99$) で、 $t - \delta_o = At^B$ 式に適合する。

この図からNトラスは $t = 3.82 + 0.58t^{0.30}$, Mトラスは $t = 4.56 + 0.85t^{0.20}$, Gトラスは $t = 3.17 + 0.24t^{0.24}$ が導かれる。なお、クリープ回復については、一般的な重ね合わせの原理を適用すると(1)式のようになる。

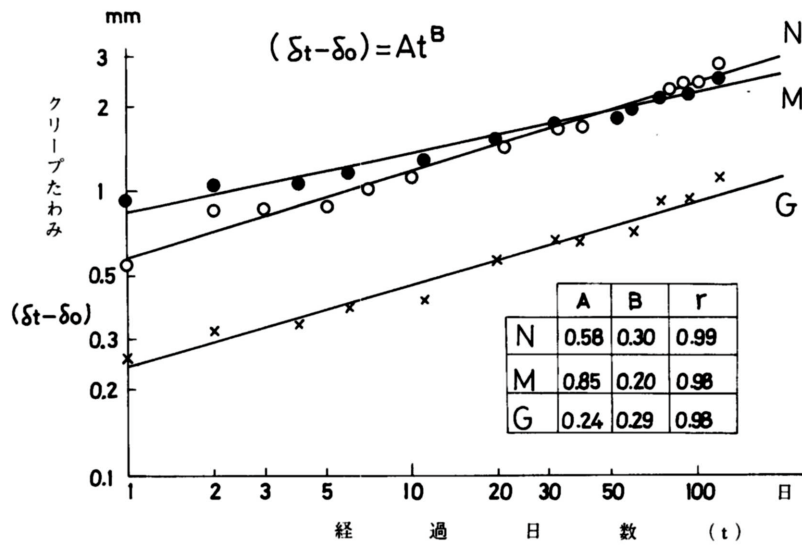
$$rt = A \{ t^B - (t - t_1)^B \} \dots \dots \dots (1)$$

ここでA, Bは先に求めた定数。t, t_1 , t_1 は除荷直前までの経過日数, 本試験では120 (日)。

しかし、トラスの場合は接合部のズレによる残留たわみが載荷・除荷をくり返すごとに蓄積されるので、これには適合せず、このため実験式として(2)式を適用した。

$$rt = \delta_o + A \{ t^B - (t - t_1)^B \} \dots \dots \dots (2)$$

ここで δ_o は、前サイクルまでの累積残留たわみ。



第2図 クリープたわみと経過日数との関係

このようにして求めた δ_0, A, B, δ_0 の各定数を第2表に示した。第1サイクルの定数A, Bについては前報¹⁾をもとに有馬ら³⁾が求めているが、本報とは若干の差がみられる。これは数値のとおり方(第2図のプロット数の違いなど)によるもので、バラツキの範囲と考えられる。

実測値と実験式との適合性をみるため、一例として3サイクル時たわみの推移を第3図に示した。

外気の温湿度の影響などで実測値は変動するが、ほぼクリープ及びクリープ回復曲線に乗っている。Nトラスの場合、クリープ回復曲線にやや適合しない面もあるが、除荷120日後の実測値との差は0.5mm以内である。全サイクルを通じても同様の傾向にあり、(2)式の妥当性がほぼ認められる。

3.3 たわみの長期推定

前項で述べたように温湿度の変化や、くり返し荷重による残留たわみの累積などから、全サイクルを通し

第2表 クリープ曲線の諸定数

トラス	サイクル数	δ_0^a	A	B	δ_0^b
N	1	3.82	0.58	0.30	(2.04) ^{b)}
	2	7.13	0.17	0.58	2.81
	3	8.82	0.12	0.52	4.36
	4	10.41	0.18	0.33	5.41
	5	10.04	0.36	0.18	5.89
	6	10.72	0.22	0.36	5.94
	7	11.29	0.08	0.59	6.46
M	1	4.56	0.85	0.20	0
	2	6.12	0.25	0.47	0.98
	3	7.09	0.19	0.45	1.57
	4	9.09	0.21	0.31	2.40
	5	9.04	0.67	0.16	3.06
	6	8.79	0.33	0.29	3.47
	7	8.45	0.23	0.48	3.65
G	1	3.17	0.24	0.29	0
	2	3.37	0.16	0.47	0.49
	3	3.86	0.06	0.52	0.72
	4	4.66	0.14	0.29	1.12
	5	4.43	0.40	0.13	1.34
	6	4.55	0.18	0.25	1.62
	7	4.48	0.18	0.40	1.61

a) 前サイクルまでの累積残留たわみ(第1表の δ_{MIN})と、その回の瞬間たわみ(第1表の δ_0)を加えたもの。

b) 本来0とすべきであるが、実測値から逆算するとこれだけ(約2mm)の永久たわみ分を加えるとクリープ回復曲線に適合する。

て1本のクリープ曲線で表すことは困難である。しかし累積たわみの推移から、長期の推定は可能と考えられる。

第4図に累積たわみの推移を示した。図中の曲線(破線)は、実測値をもとにべき乗回帰式 $t = Cn^d$ に当てはめ求めたもので、高い相関が得られている。

この式から、Nトラスの場合 $n=10$ 、すなわち10サイクル(10年経過に相当)時の最大たわみは約14mm、21サイクル時には18mm(スパン比1/300)に達することになる。Mトラスの10サイクル時は約12mmで、18mmに達するのは68サイクル時と推定される。またGトラスは、接着層の劣化等を考慮しなければ、100サイクル時でもたわみは7mm程度におさまることになる。

3.4 トラスの長期耐力

N, M, G各トラスの部材そのものは、ほぼ同一の強度性能を有している²⁾。したがって、たわみの大きさは接合方法のみに影響されると言っても良い。

トラスのたわみ制限をスパンの1/300かつ2cm以内とすると、Nトラスは前述のように21年の耐用となる。本試験で仮定した積雪期間(4カ月)や、回復期間(4カ月)は現実よりは厳しいと思われる。たとえば積雪が4カ月も載りばなしということはなく、また回復期間は8カ月程度にはなると思われる。これらのことを考えると更に耐用年数は延び、30年程度の使用は可能と思われる。

Nトラスの強度性能は、短期換算設計荷重の約3倍(長期の6倍)²⁾あったが、長期耐力は結局たわみ制限により決められることになる。結果的には、木構造設計規準の「釘接合の長期耐力は短期耐力の1/3とする」ことがそのままこのトラスに適用される。

Mトラスの場合、破壊荷重は短期換算設計荷重の約3.6倍あり²⁾、たわみも約70サイクルは十分にもつなど釘打ちよりも高い接合性能を示した。このトラスについては、短期、長期いずれの耐力も高かったために、Nトラスのように短期と長期耐力との関係を直接明らかにすることは出来なかった。今後、荷重比を高めたクリープ試験などを行い検討して行く予定である。

Gトラスの場合、破壊荷重は短期設計荷重の約4.2倍²⁾もあり、長期のたわみについてもまったく問題とならず、接着剤併用トラスの高い性能が証明された。一方、逆の見方をすると、接合部はかなり安全率をかけ過ぎた設計であったことになり、接着接合トラスに

関しては、今までの構造計算法を見直し、より合理的な方法で接合部の設計を行う必要があるものと思う。

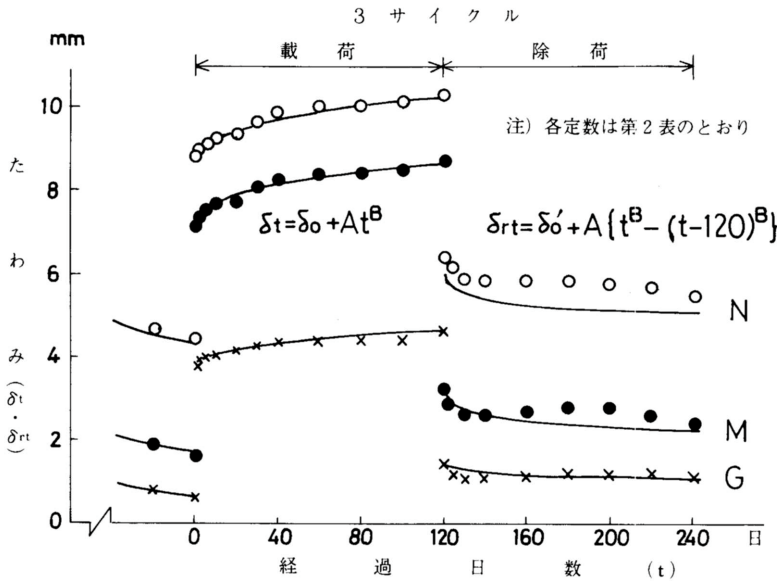
4.まとめ

間口5.4m、こう配4/12のエゾマツ204材による、

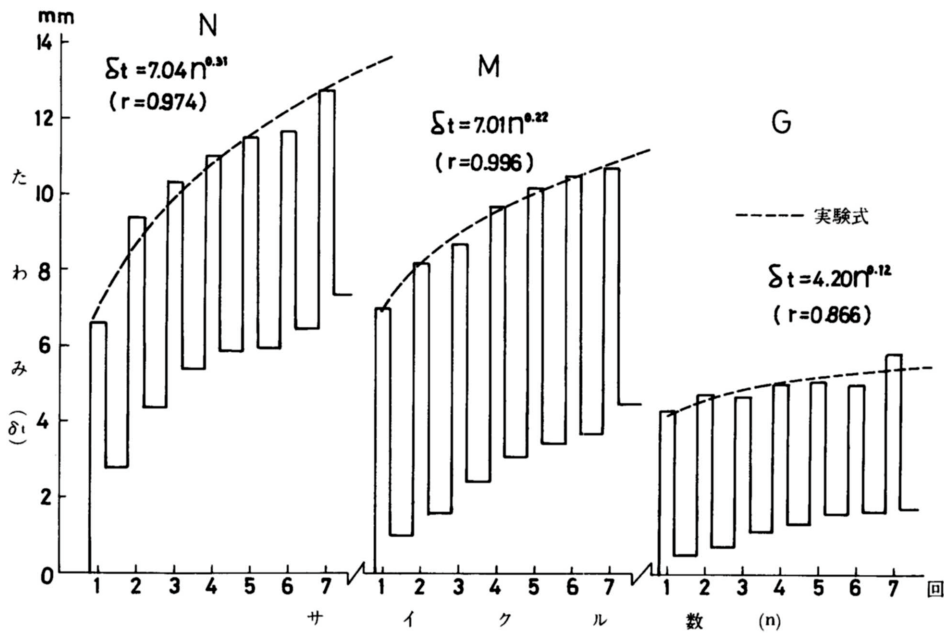
3種の接合工法のトラスに、積雪1mに相当する雪荷重を長期間くり返し付加し、その性能を検討した。

結果の概要は以下のとおりである。

- 1) NトラスはM、G両トラスに比較して残留たわみが大きい。特に第1サイクル終了時には、接合部のズレによる永久たわみを含めて約2.8mmを示した。
- 2) 7サイクル終了時におけるN、M、G各トラスの最大たわみはそれぞれ



第3図 たわみの実測値と実験式(クリープ曲線)



第4図 下弦材中央部の累積たわみの推移

れ約12.7mm(スパン比1/425)・10.7mm(1/505),
5.9mm(1/915)であり実用上問題となるような点
は認められない。

3)各サイクルごとのたわみの実測値は,クリープ
曲線 $t = o + At^B$ 及びクリープ回復曲線 $rt =$
 $o + A\{t^B - (t - t_1)^B\}$ によく適合する。

4)長期のたわみを推定すると,Nトラスは21サイ
クル,Mトラスは68サイクル時にスパン比1/300に
達する。一方,Gトラスは100サイクル時でも1/740
程度におさまる。

5)Nトラスの長期耐力は,短期耐力の1/3と見る
のがほぼ妥当と思われる。M,Gトラスについては
今後の試験にまたなければならぬ。

6)トラスの長期耐力は,たわみの方から制限され
ることが多いものと思われる。したがって,今後は
長期耐力を予測するため,接合部についてのクリー
プ試験を行う必要がある。

文 献

- 1):伊藤ほか3名 林産試月報,347,1(1980)
- 2):伊藤ほか3名 同上,319,17(1978)
- 3):有馬ほか2名 建築研究報告,95,70(1981)

- 木材部 強度科 -

- *林産化学部 木材保存科 -

(原稿受理 昭58.3.8)