

軽量型鋼管製三連はしごの開発について (第4報)

新形状による軽量化

Development of a Light-weight Steel Pipe Extension Ladder with 3 Sections (Series 4)

矢ヶ崎 孝*
米田 雅一*

概要

平成5年度に試作した軽量型鋼管製三連はしご(H5-1)については、従来の鋼管製三連はしごと比較して約20%の軽量化を達成し、評価されたところである。しかし、一層の軽量化を望む声が大きいため、構造の抜本的見直しを行い、コンピュータシミュレーションによる構造解析をへて約25%軽量化した新形状の鋼管製三連はしご(H5-2)を開発した。本実験は、開発したはしごの強度等の確認、問題点の抽出、改良案の検討を行うことを目的として行った。

H5-1 model, an extension ladder with 3 sections developed in 1993, has a good reputation for its light weight. In order to build a lighter weight extension ladder, H5-2 model was built as a trial after changing the structure of the imaged model by the computer simulation. This report shows the results of the comparative tests for H5-1 and H5-2 models.

1 はじめに

東京消防庁では隊員の高齢化に伴って、各消防資器材の軽量化を重要課題としている。消防活動において、三連はしごは使用頻度の比較的高い資器材であり、これを軽量化することは重要である。三連はしごの軽量化については古くから素材面と構造面から進められている。軽量化に有利な素材として「チタン」「ステンレス」「アルミニウム」等があるが、いずれも鋼と比較して相当のコストアップが課題として残されている。最も望ましいのはコスト的に有利な鋼を採用して更に三連はしごの軽量化を推進することである。平成5年度は、千葉大学工学部上杉助教授の御指導をいただき、三連はしごの構造の抜本的見直し、コンピュータシミュレーションによる構造解析、及びその結果に基づく試作を行った。ここに、その開発概要と強度等の確認実験結果を報告する。

2 はしごの諸元

H5-1型、H5-2型の諸元を表1に示す。H5-2のはしごの形状を図1に示す。

表1 諸元

項目		H5-1	H5-2	
各部寸法	全伸てい長さ (mm)	8710	8720	
	縮てい長さ (mm)	3510	3540	
	一連目	幅 (mm)	413	413
		厚さ (mm)	200	70~200
		長さ (mm)	3510	3540
	二連目	幅 (mm)	371	375
		厚さ (mm)	164	165
		長さ (mm)	3245	3250
	三連目	幅 (mm)	338	338
厚さ (mm)		113	50~120	
長さ (mm)		3245	3250	
表横さん間隔 (mm)		323	325	
重量 (kg)		35	32	

*第三研究室

3 実験内容

- (1) 実験場所
東京消防庁消防科学研究所 1階総合実験室
- (2) 実験項目
 - ア 水平状態測定実験
 - (ア) 荷重883N (90kgf) を二連目中央付近に単独にかけ、ひずみ量及びたわみ量を測定する。
 - (イ) 荷重981N (100kgf) を各重合部に単独にかけ、ひずみ量及びたわみ量を測定する。
 - イ 65°架てい測定実験
 - (ア) 荷重883N (90kgf) を各横さんに単独にかけ、ひずみ量及びたわみ量を測定する。
 - (イ) 荷重883N (90kgf) から3530N (360kgf) までを883N (90kgf) 間隔で、11段目、22段目に単独にかけ、ひずみ量及びたわみ量の変化を測定する。
 - (ウ) 荷重2450N (250kgf) を、14段目に単独にかけ、ひずみ量及びたわみ量を測定する。
- (3) ゲージの位置
ひずみゲージの取り付け位置は図1のとおり。

4 実験結果

- (1) 水平状態測定実験
実験状況を写真1に示す。
ア 架てい角度0°、14段目に90kgf
架てい角度0°、14段目に90kgfをかけたときのたわみ量の測定結果を表2に、応力測定結果を図2に示す。
ウ) 安全基準では、全伸てい状態のはしごは8.7mで、130.5mmのたわみが許容される（全伸てい長さ×1.5%）。今回のはしごは、いずれの部位でもこれを下回り最大で78mmである。また、H5-1と比較すると最大で3mm多たわんでいる。

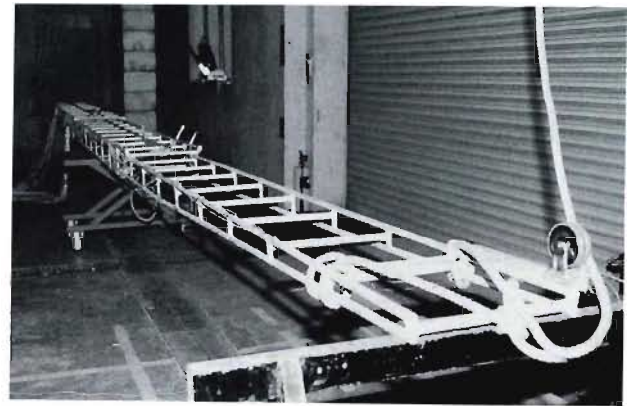


写真1 実験状況

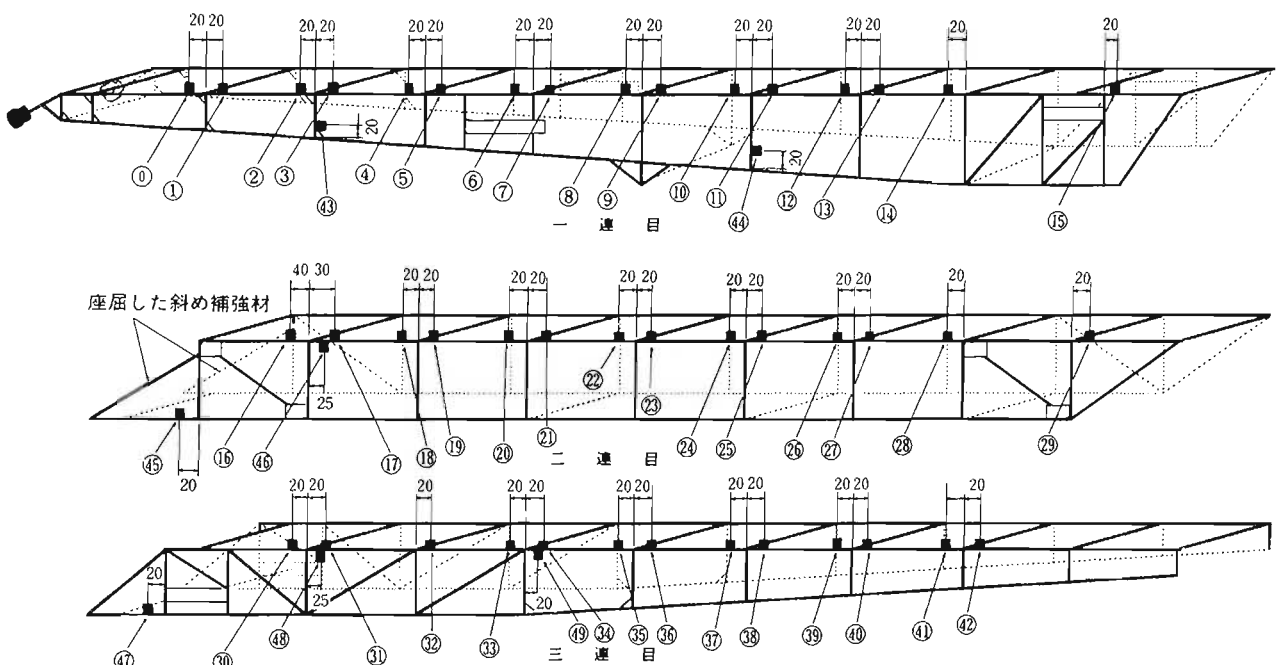
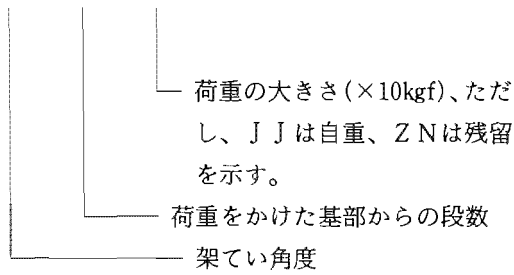


図1 ゲージの取り付け位置

※実験の表記法：実験ごとにこれを記す。(なお、応力図は「. CSV」を付記する)

〇〇-〇〇-〇〇



例 00-14-08

架てい角度 0° (水平)、14段目に80kgfの荷重をかけた。

イ 架てい角度 0°、10段目に100kgf

架てい角度 0°、10段目に100kgfをかけたときのたわみ量の測定結果を表3に、応力測定結果を図3に示す。

表3 架てい角度 0°、10段目100kgf時のたわみ量

単位 [mm]

実験	段目	6段目	11段目	14段目	19段目	22段目
00-10-10 (H 5-1)		40	67	67	56	31
00-10-10 (H 5-2)		43	69	70	57	40

※ H 5-1 は22段目ではなく、23段目を測定したものである。

表2 架てい角度 0°、14段目80kgf、90kgf時のたわみ量

単位 [mm]

実験	段目	6段目	11段目	14段目	19段目	22段目
00-14-08 (H 5-1)		33	58	67	58	34
00-14-08 (H 5-2)		35	59	70	60	43
00-14-09 (H 5-1)		37	65	75	65	38
00-14-09 (H 5-2)		40	67	78	68	49

※ H 5-1 は22段目ではなく、23段目を測定したものである。

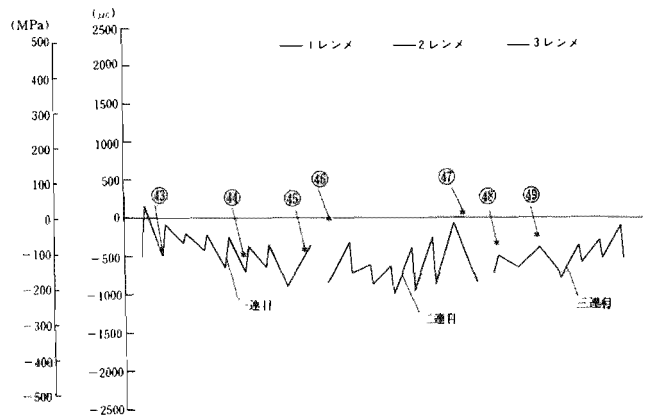


図3 00-10-10. CSV

(ア) たわみ量は、最大で70mmで、また、H 5-1と比較して最大3mm多くたわんでいる(表3参照)。

(イ) ひずみについては14段目のNo.23のゲージが-1058 μεを示し、次いで15段目、16段目のゲージも同等のレベルの高い値を示した(図3参照)。

ウ 架てい角度 0°、18段目100kgf

架てい角度 0°、18段目に100kgfをかけたときのたわみ量の測定結果を表4に、応力測定結果を図4に示す。

表4 架てい角度 0°、18段目100kgf時のたわみ量

単位 [mm]

実験	段目	6段目	11段目	14段目	19段目	22段目
00-18-10 (H 5-1)		35	63	76	80	48
00-18-10 (H 5-2)		37	67	80	85	63

※ H 5-1 は22段目ではなく、23段目を測定したものである。

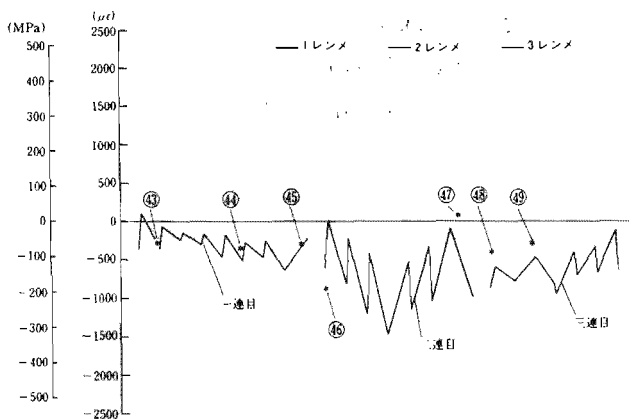


図2 00-14-09. CSV

(イ) ひずみについては、80kgf荷重で13段目のNo.22のゲージが最大値-1404 μεであり90kgfでは13段目のNo.22のゲージが最大値-1557 μεとなっている(図2参照)。

表5 架てい角度65°、各横さんに90kgfをかけた時の最大ひずみ 単位〔 $\mu\epsilon$ 〕

実験No	荷重の位置	最大ひずみ	最大ひずみを生じたゲージ
65-01-09	1	-69	7
65-02-09	2	-325	0
65-03-09	3	-331	3
65-04-09	4	-321	5
65-05-09	5	-497	7
65-06-09	6	-489	9
65-07-09	7	-528	11
65-08-09	8	-527	13
65-09-09	9	-307	17
65-10-09	10	-339	17
65-11-09	11	-379	17
65-12-09	12	-381	21
65-13-09	13	-412	23
65-14-09	14	-522	23
65-15-09	15	-490	25
65-16-09	16	-500	27
65-17-09	17	-447	29
65-18-09	18	-532	29
65-19-09	19	-453	29
65-20-09	20	-396	29
65-21-09	21	-390	36
65-22-09	22	-509	35
65-23-09	23	-473	37
65-24-09	24	-421	40

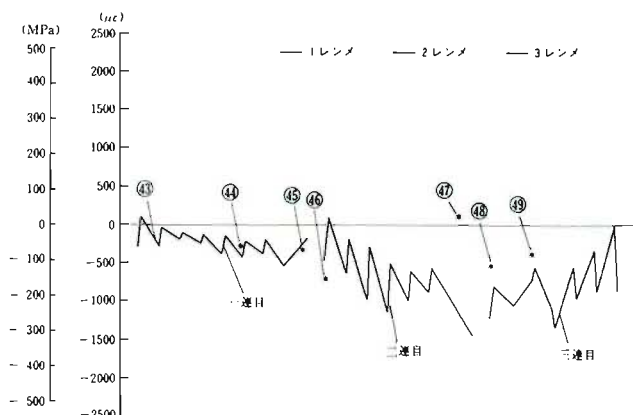


図4 00-18-10. C S V

(ア) たわみが最大80mmで、また、H5-1と比較して最大で5mm多くたわんでいる(表4参照)。ひずみについては、ゲージNo.29の二連目上端が最大値 $-1526\mu\epsilon$ を示した(図4参照)。

エ 水平角度0°残留たわみ及び残留応力

架てい角度0°ですべての荷重を取り除いたときに、元に戻るかどうかをみる実験である。

(ア) たわみ量は最大で3mmであった。過去のはしごの実験結果とほぼ同等の値である。

(イ) 残留応力は、自重の場合と比較すると、ほぼ同様な値に戻っている。

(2) 65°架てい測定実験

ア 架てい角度65°、1~24段目90kgf

65°の角度で架ていし、1段目から24段目までに順番に90kgfの荷重をかけていった。最大ひずみとそれを生じたゲージNoを表5に示す。

第1段目(65-01-09)を除き、ひずみ量の大きさに顕著な差はみられない。概ね $-500\mu\epsilon$ 前後に収まっている。最大値は、65-18-09時の $-532\mu\epsilon$ である。また、ひずみの最大値を示す部分は、荷重をかけている近傍のゲージの場合が多く、荷重をかける部分が上に移るにしたがって、最大ひずみを生じているゲージも上に移動している。

イ 架てい角度65°、11段目90~360kgf

65°の架てい角度で11段目(1連と2連の重合部)に90kgf、180kgf、270kgf、360kgfをかけたものである。たわみ量の測定結果を表6に、360kgfをかけたときの応力測定結果を図5に示す。

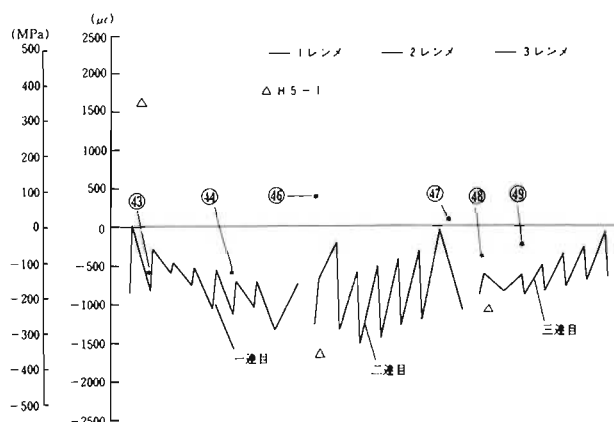


図5 65-11-36. C S V

表 6 架てい角度65°、11段目荷重時のたわみ量

単位〔mm〕

実験	段目	6 段目	11 段目	14 段目	19 段目	22 段目
65-11-09 (H 5-2)		19	31	26	27	19
65-11-18 (H 5-2)		37	60	55	51	36
65-11-27 (H 5-2)		55	91	86	75	53
65-11-36 (H 5-1)		66	117	116	92	52
65-11-36 (H 5-2)		89	150	139	115	80

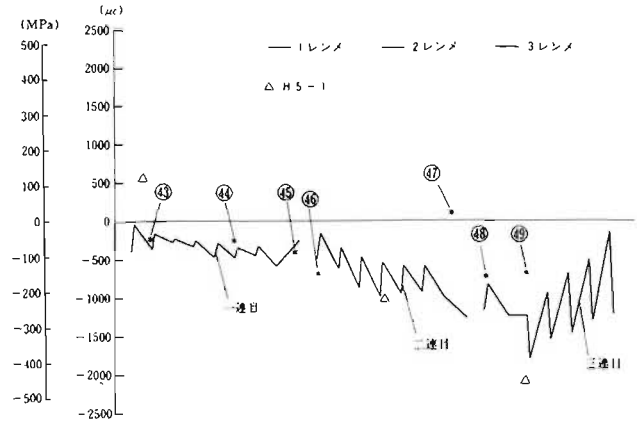


図 6 65-21-36. C S V

(ア) H 5-1 の360kgf荷重のデータと比較すると最大で150mmたわみ、33mm多くたわんでいる (表 7 参照)。

(イ) ひずみについては90kgfのときは11段目のゲージ No.17が最大値-446 $\mu\epsilon$ 、180kgfのときはゲージNo.17が最大値-833 $\mu\epsilon$ 、270kgfのときはゲージNo.17が最大値-1195 $\mu\epsilon$ であった。360kgfのときは10段目のゲージNo.45が最大値-4022 $\mu\epsilon$ を示し、二連目下部の斜め補強材が変形した。ゲージNo.17は、300kgf付近から引張応力側に傾きはじめ、360kgfでは-702 $\mu\epsilon$ となった。

ウ 架てい角度65°、21段目90~360kgf

65°の架てい角度で21段目 (2連と3連の重合部) に90kgf、180kgf、270kgf、360kgfをかけたものである。たわみ量の測定結果を表 7 に、360kgfをかけたときの応力測定結果を図 6 に示す。

表 7 架てい角度65°、21段目荷重時のたわみ量

単位〔mm〕

実験	段目	6 段目	11 段目	14 段目	19 段目	22 段目
65-21-09 (H 5-2)		27	49	44	63	31
65-21-18 (H 5-2)		40	72	72	72	67
65-21-27 (H 5-2)		53	94	99	103	79
65-21-36 (H 5-1)		44	82	97	105	70
65-21-36 (H 5-2)		67	121	131	137	106

(ア) 供試はしごの最大のたわみは、360kgf荷重で131mm、旧はしご同条件のデータと比較すると34mm多くたわんでいる (表 7 参照)。

(イ) ひずみについては、最大値は全て21段目のゲージ No.34が示し、90kgfのときは-426 $\mu\epsilon$ 、180kgfのときは-854 $\mu\epsilon$ 、270kgfのときは-1324 $\mu\epsilon$ 、360kgfのときは-1896 $\mu\epsilon$ であった。

エ 架てい角度65°、14段目250kgf

65°の架てい角度で14段目 (2連中央部) に250kgfをかけたものである。たわみ量の測定結果を表 8 に、応力測定結果を図 7 に示す。

(ア) ひずみについては、14段目のゲージNo.23が最大値-1634 $\mu\epsilon$ を示した。

表 8 架てい角度65°、14段目250kgf時のたわみ量

単位〔mm〕

実験	段目	6 段目	11 段目	14 段目	19 段目	22 段目
65-14-25 (H 5-2)		68	119	124	107	76

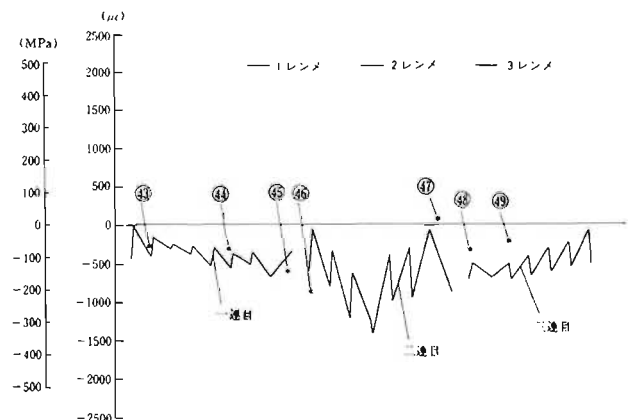


図 7 65-14-25. C S V

5 実験のまとめ

(1) 水平状態測定実験

供試はしごは、一連目と三連目のはしごの形状を大きく変更したにもかかわらず、H5-1に見られたノコギリ刃波形のひずみ発生傾向は変わらなかった。旧はしごと比較してみると形状変更した一連目と三連目のノコギリ刃形状の上下の差は小さく抑えられている。

また、二連目の部分は、ほぼ同様のひずみ発生傾向を示した。これは、表主かんと裏主かんが平行だったものを傾斜させたために構造上強度的に有利な形状になったものと考えられる。

(2) 65°架てい測定実験

ア 90kgf荷重の各横さんへの荷重実験結果は、従来のはしごとほぼ同等程度のひずみ発生量（ $-500\mu\epsilon$ 前後）であった。

イ この実験の最大荷重である360kgfをかけた状態では、二連目下部の斜め補強材が変形してしまってもどらなくなった。ひずみ発生量の多い5つのゲージを選択して、荷重の大きさに対して、どのようにひずみが増えるかグラフ化してみた（図8参照）。

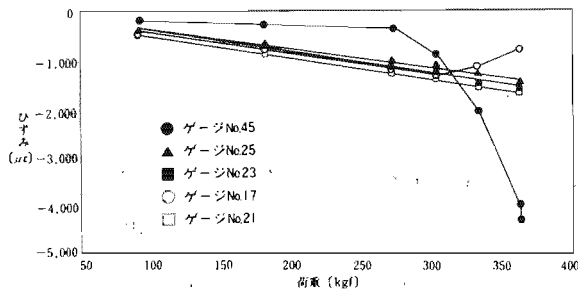
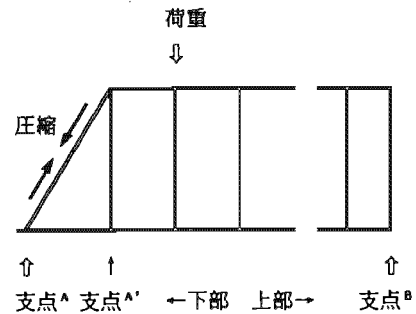


図8 荷重-ひずみ線図

ゲージNo.45を除く他の3つはほぼ荷重に比例してひずみも増加しているが、ゲージNo.45は、270kgfを超えると急激にひずみが増えている。この部分は、二連目下部の斜め補強材を支える裏主かん部である。斜め補強材は、はしごの形状から圧縮応力の発生する部分で、コンピュータの応力シミュレーション結果では、過大な応力の発生する部分ではなかった。一般に、はしごのような細身の部材を使用する場合、圧縮応力時、座屈を生ずると急激に強度が低下し変形にいたってしまう場合がある。このことから、斜め補強材に圧縮応力が加わり、その大きさは引張応力では変形するに至らない大きさであったにもかかわらず、座屈を生じ変形したものと考えられる。

また、ゲージNo.17が荷重300kgf付近から引張応力側に傾いてきたのは、斜め補強材の座屈の影響を受け支点Aが支点A'部分に移行しはじめ、荷重点に発生する応力が少なくなってきたものと推定される。さらに、荷重除去時、ゲージNo.17に引張の残留応力が発生しているが、これは、斜め補強材が曲がったまま元の形状に復帰せずに引張応力状態となっているためと推定される（図9参照）。



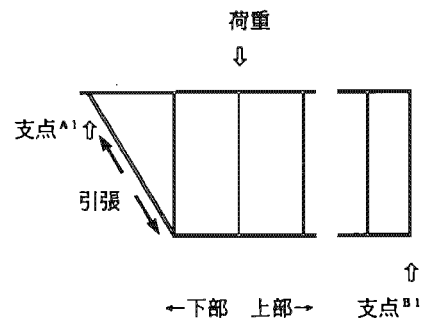
(改善前)

図9 座屈

ウ 供試はしごのたわみ量は、H5-1と比較すると、やや増加傾向にあるが、これは一連目と三連目の形状変更、及び二連目下部の斜め補強材の強度不足が原因と考えられる。構造変更により改善は可能と考えられる。

6 今後の予定

- (1) 座屈した二連目下部の斜め補強材の部分を、図10のように変更し改善する。



(改善後)

図10 改善案

改善前は、斜め補強材が圧縮応力を受けているが、改善後は、引張応力となる。この方法によれば、座屈応力による変形は回避可能となる。

- (2) 操作性については、一連目の裏主かんと三連目の掛け金の干渉が既に確認されている。前(1)と併せて一連目の裏主かんに掛け金通過用のプレートを設けて改善する。

7 おわりに

- (1) 今回開発したH5-2型は、従来の三連はしごの形状にとらわれず強度を維持しつつ軽量化を重点に構造検討したものである。今後操作性等について更に検討し、軽く、安く、安全に使用できる三連はしごの開発を推進していく。
- (2) 平成6年度にはH5-2型で検討課題となった斜め補強材の方向を変更したH6-1を試作した。今後、性能確認実験を行い、次号で報告する予定である。