

豪雪地帯を対象としたパラボラ形屋根構造に関する基礎的研究

信州大学工学部 正会員 吉澤孝和 学生員 ○ 上野 功

はじめに

豪雪地帯の積雪のような巨大な漸増荷重に耐えうる構造物として、これまでケーブルによる制御機構を有するパラボラ形トラスについて検討してきた。今回の研究の目的は、トラス構造形状の違いによるケーブルの引き上げ作用を検討することである。また、効果的な引き上げ作用を有するトラス構造形状を利用して実際に長大スパンの屋根構造物を設計し、制御の可能性を数値解析により検討する。

パラボラ形トラスの特徴と解析結果

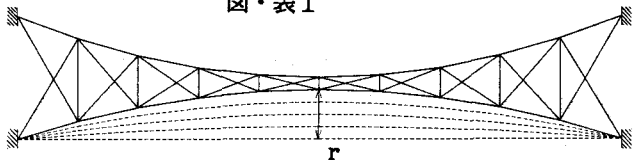
本研究で扱うパラボラ形トラスは主構造の上弦材節点を放物線形状に配置し、この上弦材の節点間に、上弦材の断面中または、上弦材の外側にケーブルを配置する。このケーブルの緊張力を調整することにより、漸変する積雪荷重に対して応答制御を行う。

解析するトラス形状とその解析結果を、図表1, 2, 3, 4, に示す。各系とも両端部は不動の支点到ピン結合される。パネル割りは各系とも 10@10m=100mとする。解析条件として、すべての部材断面積を100cm²、ケーブル断面積を8.639cm²とする。また、荷重は全節点にトラス部材とケーブル部材の自重、上弦材の各節点にはさらに雪荷重として、10ton を作用させる。ケーブル張力は一定値100ton に保つ。

図表1は支点のトラス高を一定(20m)とし、下弦材のrise(r)を変化させた場合の解析である。中央部でのトラスが厚いほどトラス的な性質が強くなり、中央部でのたわみは減少する。

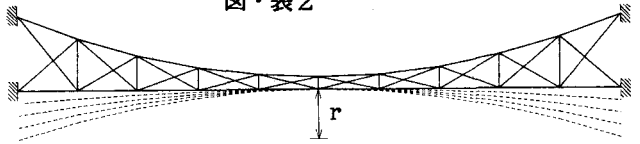
図表2は中央部のトラス厚を一定(2m)とし、下弦材のrise(r)を変化させた場合の解析である。中央部のトラス厚が少ないのでたわみは大きい、下弦材のriseを増加するにつれてアーチ的な性質が表れ、たわみは減少する。

図・表1



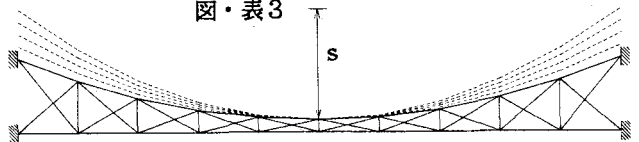
rise (m)	総重量 (ton) (トラス重量)	たわみ (cm)	支点反力 (ton)			
			水平(1)	鉛直(1)	水平(2)	鉛直(2)
0.0	51.9 (51.3)	-1.3	29.5	11.1	-136.2	69.8
2.0	49.4 (48.7)	-1.4	30.6	11.4	-135.7	68.3
4.0	47.0 (46.3)	-1.6	31.6	11.9	-135.1	66.6
6.0	44.7 (44.0)	-1.9	32.7	12.5	-134.7	64.8
8.0	42.7 (42.0)	-2.8	34.1	13.5	-134.4	62.8

図・表2



rise (m)	総重量 (ton) (トラス重量)	たわみ (cm)	支点反力 (ton)			
			水平(1)	鉛直(1)	水平(2)	鉛直(2)
0.0	38.2 (37.5)	-4.1	21.7	-0.4	-157.1	74.5
2.0	39.2 (38.5)	-3.8	28.6	3.2	-151.8	71.4
4.0	40.3 (39.6)	-3.5	32.5	7.0	-145.6	68.1
6.0	41.5 (40.8)	-3.1	34.0	10.5	-139.6	65.2
8.0	42.7 (42.0)	-2.8	34.1	13.5	-134.4	62.8

図・表3

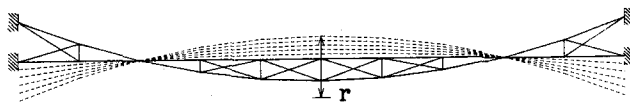


sag (m)	総重量 (ton) (トラス重量)	たわみ (cm)	支点反力 (ton)			
			水平(1)	鉛直(1)	水平(2)	鉛直(2)
10.0	38.2 (37.5)	-4.1	21.7	-0.4	-157.1	74.5
12.0	39.4 (38.7)	-2.6	13.3	0.0	-135.6	74.7
14.0	40.6 (39.9)	-1.5	7.7	0.3	-119.4	75.0
16.0	41.8 (41.1)	-0.8	3.7	0.6	-106.7	75.3
18.0	43.1 (42.4)	-0.3	0.8	0.7	-96.5	75.8

図表3は中央部のトラス厚を一定(2m)とし、上弦材の sag(s)を変化させた場合の解析である。同じ張力でケーブルを緊張した場合でも sagを増加するにつれて引き上げ効果が強く表れ、たわみは非常に減少することが分かる。

図表4はスパンの途中で上弦材と下弦材が交差する形のトラスで、下弦材の rise(r)を変化させた場合の解析である。ケーブルとアーチの作用を期待するものの、トラスとしては非常に弱い形であるので、たわみは大きく表れる。

図・表4



rise (m)	総重量 (ton) (トラス重量)	たわみ (cm)	支点反力(ton)			
			水平(1)	鉛直(1)	水平(2)	鉛直(2)
0.0	28.2 (27.5)	-7.5	-14.0	-4.3	-159.3	73.4
2.0	28.7 (28.0)	-7.8	1.5	-3.8	-159.7	73.2
4.0	29.3 (28.7)	-7.4	15.8	-0.6	-154.4	70.2
6.0	30.0 (29.3)	-6.5	25.9	4.1	-145.9	65.9
8.0	30.7 (30.0)	-5.6	31.4	8.9	-137.1	61.5
10.0	31.5 (30.8)	-4.7	33.5	12.9	-129.6	57.8

屋根構造物の設計 豪雪地帯における巨大な積雪荷重に対して、実際にパラボラ形トラスを使った屋根構造物の設計を行う。トラスの形状は前出の解析によって示された下弦材のアーチ的性質を使ったトラスとし、トラスの部材重量を少なくするために、トラス中央部での厚さを小さく2mとした。両端支点部の高さを30mとし、上弦材のsagを10m、下弦材のriseを18mとした。荷重条件としてトラス自重、ケーブル自重、屋根材重量を考慮し各節点に作用させる。また、積雪荷重は等分布荷重とし、積雪1mにつき上弦材の各節点に100tonを作用させる。部材断面積はオイラーの一次座屈を考えた許容応力を満たすものとし、雪荷重300tonに耐えうる部材断面積とした。中央の梁に相当する部分では、引張材(64~96) cm^2 、圧縮材(64~144) cm^2 、両端の支点部においては、引張材 96 cm^2 、圧縮材(10000~20000) cm^2 、とする。この系では支点部の部材には非常に大きな圧縮力が作用する。制御にあたっては、まずスパン中央の節点cが、積雪 0m、ケーブル張力100tonの状態における変位を基準値(-1.56cm)とする。積雪荷重が漸増するにつれてケーブル張力を上げていき、節点cが常に基準値を保つように応答制御を行った。その結果を表5に示す。

制御に必要なケーブル張力は積雪荷重にほぼ比例して増加している。たわみ面積(たわみ発生前後の上弦材の形状で囲まれる面積)もほぼ比例している。このことは、節点cのたわみを制御しても他の節点変位の変動が大きいことを意味している。今後の課題は、たわみ面積の変動を最小に制御する手法および巨大なケーブル張力に対する効果的な下部構造の検討である。

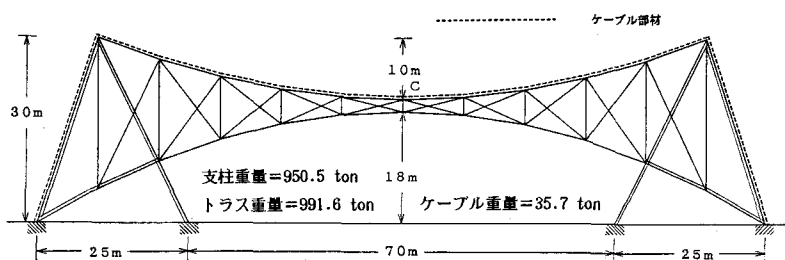


図5 パラボラ形屋根構造

表5 解析結果

積雪荷重 (ton)	ケーブル張力 (ton)	たわみ面積 (cm^2)	最大圧縮力 (kg/cm^2)	最大引張力 (kg/cm^2)	支点反力 (ton)	
					水平	鉛直
0	10.0	0.0	279.4	567.3	223.6	456.3
50	671.3	362.3	263.7	543.4	23.3	-138.0
100	1332.5	725.1	256.0	519.6	-177.1	-732.3
150	1993.8	1087.4	301.1	495.7	-377.5	-1326.6
200	2655.0	1449.8	373.8	527.7	-577.9	-1920.9
250	3316.3	1812.2	474.0	631.1	-778.2	-2515.2
300	3977.5	2174.6	574.3	734.4	-978.6	-3109.5