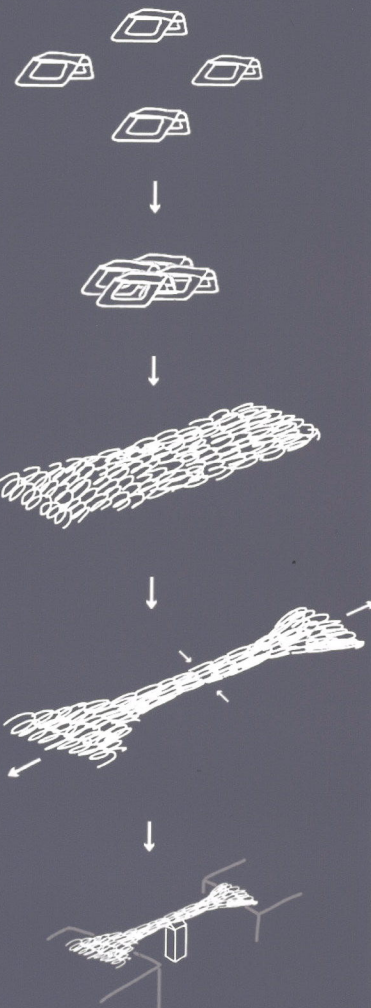


ringarch

この ringarch はリングプルを 45 度程曲げ、リングプルの下の中心に切り込みを入れ、他のリングと繋げたアーチです。リングプルは 1 つ 1 つが軽く脆そうに見えますが、繋がりが合うと軽く固い塊になります。その習性を生かして今回リングプルを使う事にしました。そして固い針金の戻る力を利用し、リングプルの綺麗な形を保ちつつ、引っ張る力の連鎖でカツゲンを持ち上げます。



ストロープ

構造の考え方

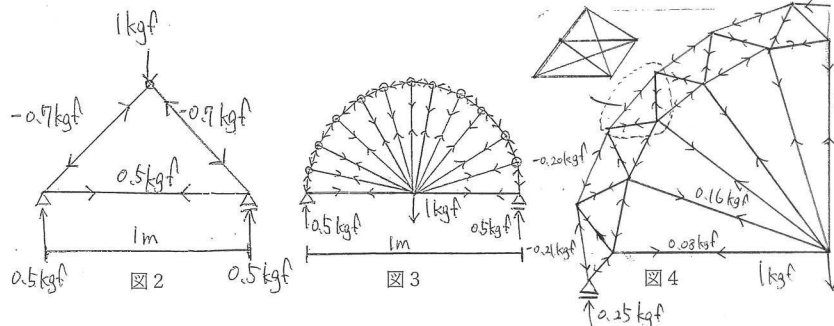
スパン1m真ん中に1kgの集中荷重が作用した時、最も応力が分散する形を考える。

図1より、私は、平面トラスを基本とする。図2のようなキングポストトラスは応力分散する構造物の1つだが、部材の長さが長くなるため、座屈長さが長くなり、市販の材料が見つかりにくくなる。そこで私は図3のような半正多角形の圧縮材に引張材を中心に張る構造とした。次に構面外の剛性を出すため、ピラミッドを組み合わせたような図4の構造とした。ピラミッドの4角形の部分は、たすき掛けすることにより、引張しか持てない材のみで剛性を出した。この構造物のメリットは荷重点(=重心)が下の方だから、ねじり剛性が小さくても横倒れしにくく、それでもそれが支点より下がることはないことである。

次元	2	3
集中	平面トラス	空間トラス
分布	アーチ	シェル

応力分散型構造物

図1



詳細

次に材料と接合方法を検討する。圧縮材は軽くて断面2次半径が大きいものが望ましいため、ストローを採用した。さらに、中にひもを通すことにより引張材のひもと結ぶだけで接合完了という素晴らしい施工性を実現した。実際に組み立てたものが図5である。本番では、節点の収まりをさらに整え、ストローに偏心荷重がかからない構造物を実現する。

材料・・・圧縮材：ストロー+ひも

引張材：ひも

接合方法・・・ひもとひもを結ぶ

構造システム

(可) or 不可	最大応力(解析より)	不等号	耐力(実験より)
圧縮(ストロー)	0.21	<	0.25
引張(ひも)	0.16	<	0.97

[kgf]

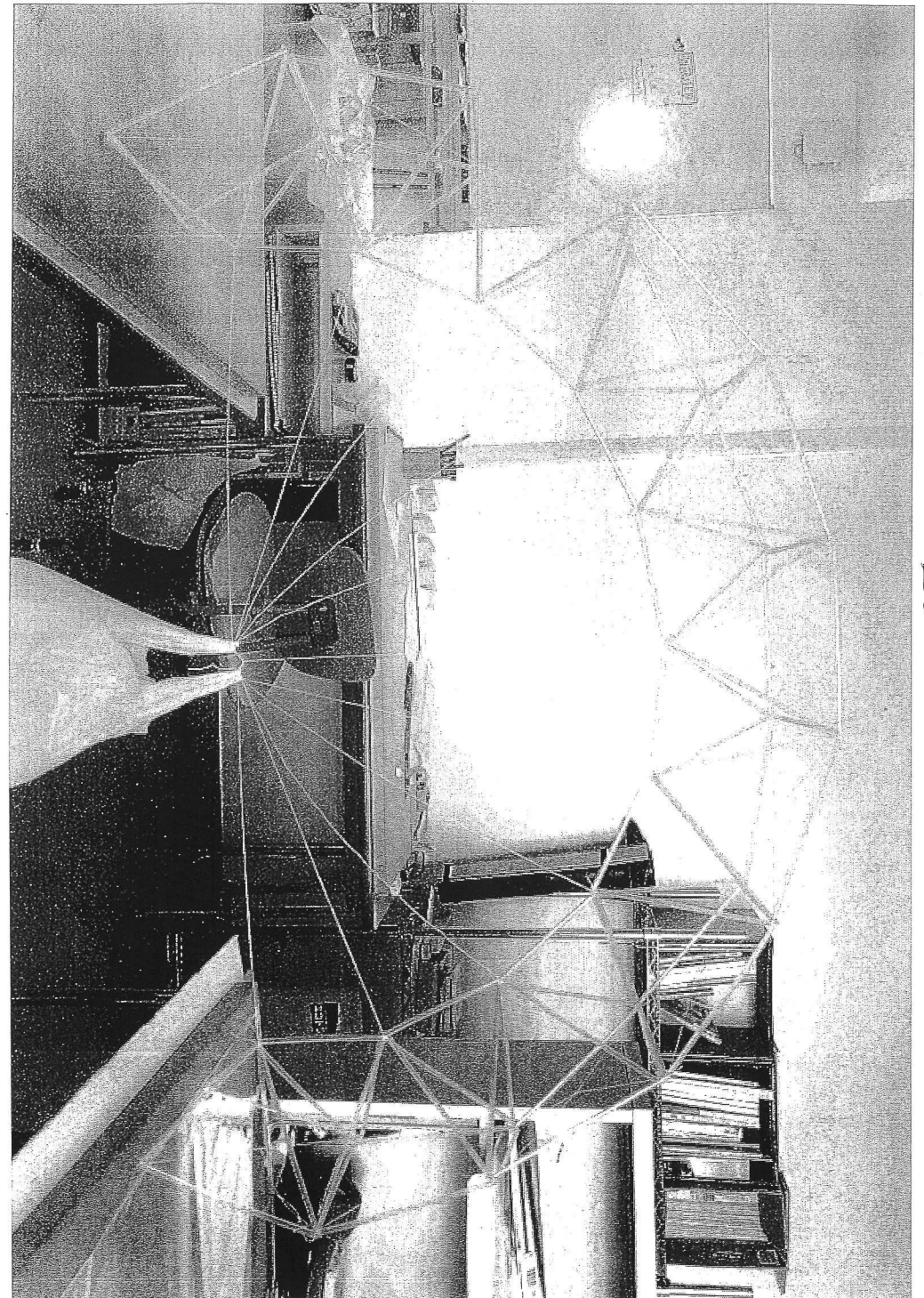
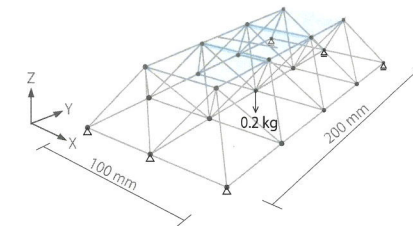


図5

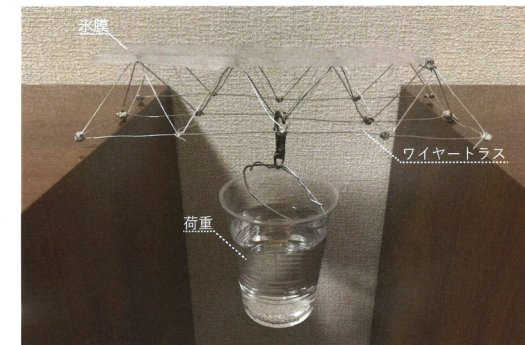
[S=1/5 縮小実験]

▽試験体概要



- ・0.5Φのワイヤーを使用 ・3mmの氷膜で補剛
- ・境界条件はピン&XY方向にローラー

▽載荷実験

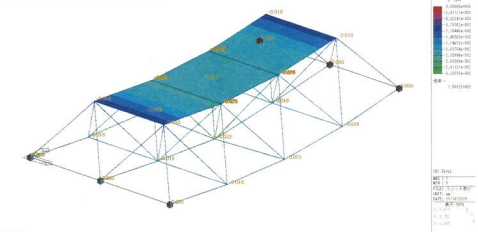


▽実験結果と考察

試験体には、若干の施工誤差があり、スパンは190mmで氷膜の厚さは3mmであった。集中荷重200gをスパンの中央に作用させたが、架構の鉛直変位は極めて1mm程度であった。氷膜の補剛効果を確認するため、氷膜を完全に融解させ、単純ワイヤーフレームで、同じ荷重を同じ位置に作用させたところ、最大圧縮力が作用する上弦材の中央スパンで座屈が生じた。そのときの鉛直変位は2.5mmであった。圧縮材に座屈が生じたものの架構は崩壊に至らなかった。以上より、氷膜は圧縮材の補剛効果と架構の鉛直変位の低減に寄与した。

Rhino + Grasshopper + Midas

▽解析概要と解析結果



▽考察

上記の解析では、ワイヤーのみの架構に対して、氷膜で補剛された架構の最大圧縮軸力が0.63kg低減された。既往の研究より氷とステンレス鋼の付着せん断強度は、温度依存性があり、-13℃以下では2.0MPaで一定になる。本検討では、札幌の1月の平均最低気温-8.0℃を想定し、付着せん断強度を1.2MPaとした。以下のように、氷膜とワイヤーの付着せん断耐力を検討し、ワイヤーの軸力は付着せん断力を受けて氷膜に伝達されていることを確認した。

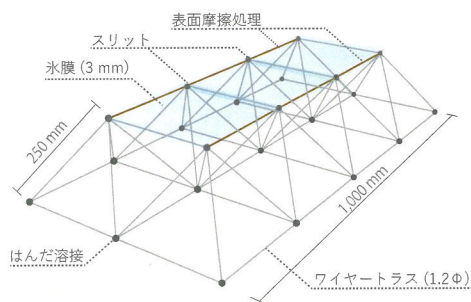
$$Q_A = 1.2 \text{ N/mm}^2 \cdot 3.77 \text{ mm}^2 \cdot 250 \text{ mm} = 1131 \text{ N} > 6.3 \text{ N}$$



ICED WIRE TRUSS

初冬、川や湖の表層は薄く透明な氷の膜に覆われる。手に触れば溶けそうで、衝撃を与えればバキッと割れそうな、繊細な物質。無数の四角錐で構成された立体的な線がシャープな影を落とす。自立するのがやっとな、今にも折れそうな、繊細な架構。雪国の原風景である氷膜とワイヤーで構成された立体トラスが重なり合い、軽くて透明感のある構造体に生まれ変わる。氷と鋼が融合した、冬にしか成立しない、神秘的な構造を提案する。

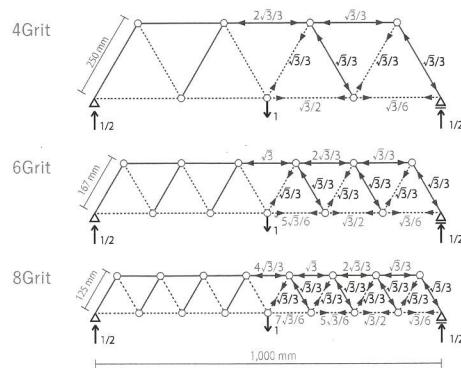
構造アクセム



▽架構の構成

斜材は折り曲げられた一本のワイヤーで、上下弦材は一本の直線材で構成され、斜材と上下弦材ははんだでピン接合されている。やすりがけが施された上弦材と氷膜には、付着せん断力を期待できる。架構が撓んだ場合でも、V形に設けたスリットにより、氷膜に面外曲げが生じない。上記の架構の総重量は、500gであるが、応力がほとんど生じない正方形グリッド中央の氷膜を融解すれば、さらなる軽量化が実現できる。

トラス形状の検討



斜材の軸力は、グリットの数によらず一定である。グリット数が増えるに比例して、上弦材と下弦材の軸力も大きくなる。ワイヤートラスを成立させるには、圧縮材の座屈を検討する必要がある。

圧縮材の座屈検討

▽氷膜厚さの決定

上弦材の座屈補剛には、最大圧縮軸力 $N = 2\sqrt{3}/3$ の0.2%補剛力が必要である。また、氷のせん断強度は $\tau = 7.0 \text{ kg/cm}^2$ である。ワイヤーの補剛に必要な氷膜厚さは氷膜のパンチングシアアで決めた。

$$N = \pi \frac{t}{2} \cdot \frac{t}{2} \cdot \tau$$

$$\frac{2\sqrt{3}}{3} \cdot \frac{2}{100} = \frac{7.0\pi \cdot t^2}{4}$$

$$t \geq 0.6 \text{ mm}$$

ワイヤーの径と施工誤差を考慮して、 $t = 3.0 \text{ mm}$ とした。

▽トラス一辺の長さの決定

圧縮される斜材は座屈しない最長の座屈長さとした。つまり、トラスの一辺の長さは斜材の圧縮耐力で決まる。両端の境界条件をピンとしてオイラー座屈式で検討した。

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l^2}$$

$$\frac{\sqrt{3}}{3} [\text{kg}] = \frac{\pi^2 \cdot 2.05 \times 10^5 [\text{N/mm}^2] \cdot \frac{\pi (1.2/2)^4 [\text{mm}^4]}{4}}{l^2 [\text{mm}^2]}$$

$$l \leq 334 [\text{mm}]$$

相持ち作用による片持梁

提案する構造について

構造物を軽量化するためには、

構造体を構成する部材単位の自重を小さくする

⇒ 配置した部材を効率的に使用すること

と考え、ラーメン構造のような曲げによる抵抗ではなく、軸力系（引張、圧縮）の抵抗による従来の考え方に基づいた計画とする。

構造システムの基本形として採用するのは、片持ち梁とする。

単純な片持ち梁は、曲げとせん断により元端へ荷重を伝達させるが、元端にて曲げを処理しなくてはならない。

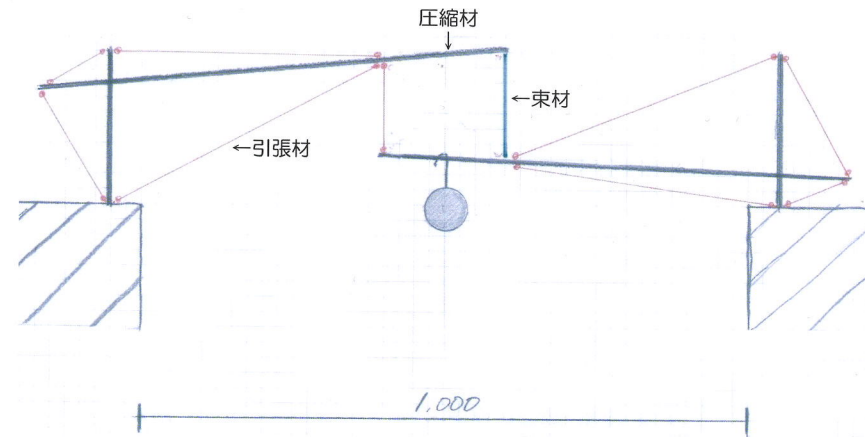
本課題では、置くだけで自立させるという条件があるため、足元の抵抗は期待できず、対岸から逆L型の片持ち梁持ち出し上から吊り材、下から束材を追加し、互いに支えあう架構とした。

架構を構成する材料は、紙とテグスとする。

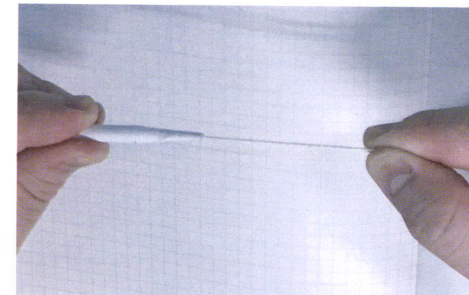
紙は、圧縮抵抗材としての必要強度を確保するため、丸めて紙管として使用する。

テグスは、引張抵抗材としての性能を確保するため、出来るだけ伸びの小さい材料を選択する。

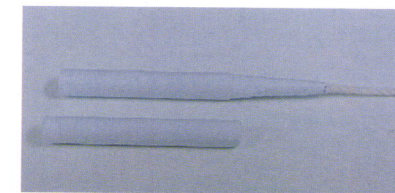
接合部は、紙を筒状に丸めたロッドにテグスを通して引っ張る。すると円筒が円錐状に変形し締め付けおよび紙間の摩擦が発生する。この作用を用いた接合部とする。



立面形状



接合ロッドの引張時の様子



接合ロッドの引っ張る前後

Light Weight Structure "TRITENT"

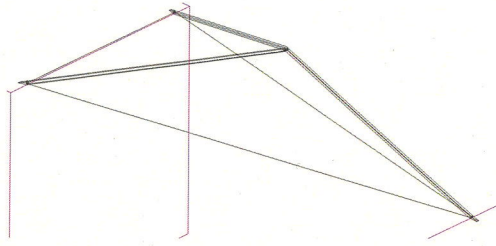


Figure 1 3D View of "Tritent" Structure

Optimization in every compressive member length was done.

MATERIAL

- Light Wooden Stick (5x6mm & 5x5mm) – Compressive elements
- Nylon Cable, diameter = 0.165mm, load capacity = 2 kg – Tension elements

DESIGN

Light wood as material to resist compressive force need to be carefully designed. To mitigate the buckling failure in the structure, Euler approach was used to calculate members strength in dependent with length. Because of a relatively low reliability level of the design parameter, a weight factor=1.2 was introduced. Due to its uncertainty, modulus elasticity value of the wood was obtained from a simple test.

Generating Parameter



The test to obtain the modulus elasticity value of the light wood was conducted by imposing various weight to a simple cantilever span of the material.

$$\delta_{max} = \frac{PI^3}{3EI}$$

In this experiment, the geometrical values of the sample bar are as follows:

- b = wide of the bar = 5 mm
- h = height of the bar = 6 mm
- l = cantilever span = 300 mm
- I = moment inertia at strong Axis = $1/12 \times b \times h^3 = 90 \text{ mm}^4$.

Figure 2 Modulus of Elasticity Test Set Up

No	Weight(kg)	Deflection (cm)	E (Mpa)	Description
1	0.200	2.7	7407.41	Used
2	0.305	4.4	6931.82	Not Used
3	0.400	5.4	7407.41	Used
4	0.505	6.8	7426.47	Used

OPTIMIZATION: Design of Efficient Single Compressive Bar Side

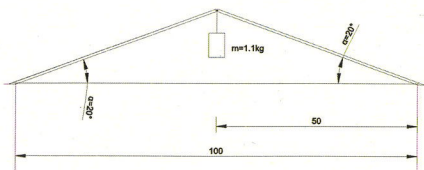


Figure 3 Front View

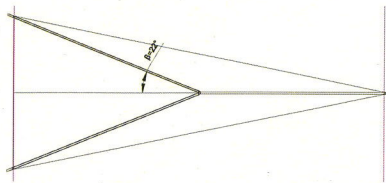


Figure 4 Vertical View

$$\text{Length of single compressive bar} = L_s = \frac{S}{2 \cos \alpha}$$

$$\text{Length of twin compressive bar} = L_t = \frac{S}{2 \cos \alpha \sin \beta}$$

The optimization of the structure is done by adjusting angle α , angle β , and choosing the most efficient bar size. It can be inferred that bigger angle will result in longer and weaker elements (due to buckling effect). Force distribution equations are as follows:

$$Pu_1 = \frac{1.2 \times m \cdot g}{2 \sin \alpha} \quad Pu_2 = \frac{1.2 \times m \cdot g}{4 \sin \alpha \cos \beta}$$

$$E_{avg} = 7413.76 \text{ MPa}$$

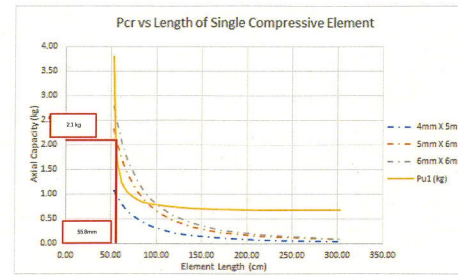


Figure 5 Pcr vs Length of Single Compressive Element

Calculation for critical compressive force due to buckling:

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 E}{(L_e/r)^2} < \sigma_{capacity}$$

It can be inferred clearly from the graph that bar size of 4x5 mm is not adequate to resist the demand load (Pu1). Compared to bar size 5x6mm, bar size 6x6mm only give a relatively small additional strength. Thus, bar size 5x6mm is chosen to be used as the section for single compressive bar. The most efficient usage of bar size 5x6 is when the curve intersects at the smallest length value. It can be seen from the figure. 5 that the most efficient length and angle for single compressive bar are 55.87cm \approx 56cm and 20°, respectively.

OPTIMIZATION: Design of Efficient Twin Compressive Bar Side

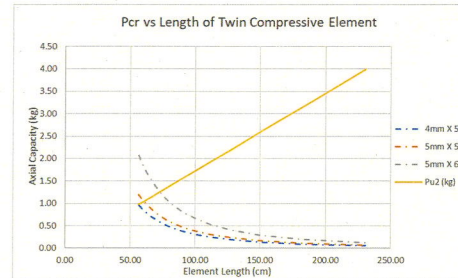


Figure 6 Pcr vs Length of Twin Compressive Element

The increment of β will lead to longer span (decrement of bar strength) and bigger force distributed to the bar. Keeping β as small as possible will be more beneficial in force point of view but it will not make the structure stable regarding side motion.

Can be inferred from graph above that bar size 4x5mm is not sufficient to carry the load. Bar size 5x5mm offered a relatively small overstrength but barely strong enough from angle $8^\circ < \beta < 22^\circ$. For stability reason, $\beta = 22^\circ$ was chosen so that the structure still can maintain a good side-way stability that might occur from random motion of the weight. Bar size 5x5mm and $\beta = 22^\circ$ with bar length equal to 60.26 \approx 60mm was determined for the twin compressive members.

JOINT

All joints are made by bundling the joined elements by nylon cable. It can be achieved by making a hole through all the wood elements and looping the cable inside the hole.

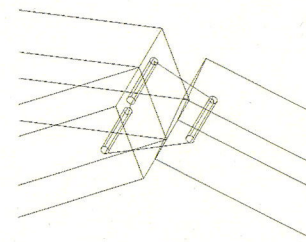


Figure 7 Top Joint of Three Compressive Elements

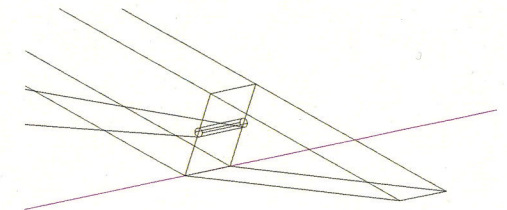
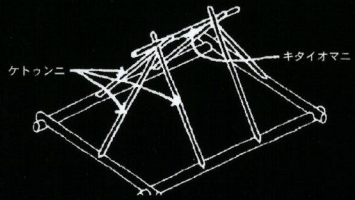
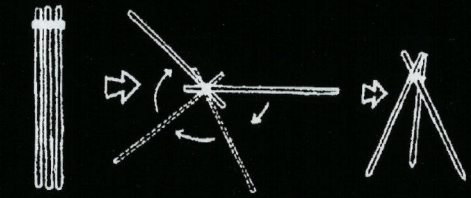


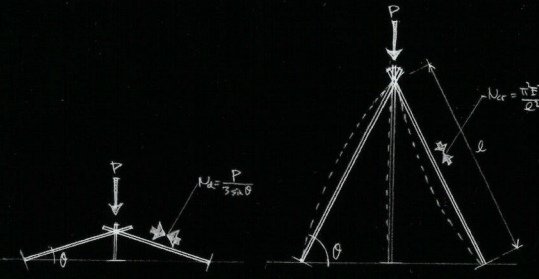
Figure 8 Bottom Joint of Compressive Elements

【ketun-ni】

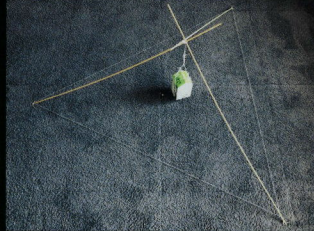
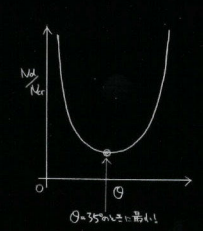
アイヌ住居(チセ)の小屋根にみられる三脚の叉首構造を「ケトゥンニ」という。
 ケトゥンニは、三本の棒を結合して拡げることで安定架構を形成するプリミティブな構造単位である。
 二組のケトゥンニを用意し、互いに組み合うように並べる。
 頂点間をキタイオマニ(棟木)で結ぶことで、ケトゥンニどうしが一つの架構として働き、
 1メートルスパン間中央に吊るされた鍾を支える。



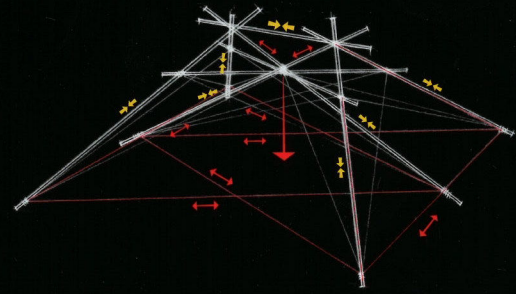
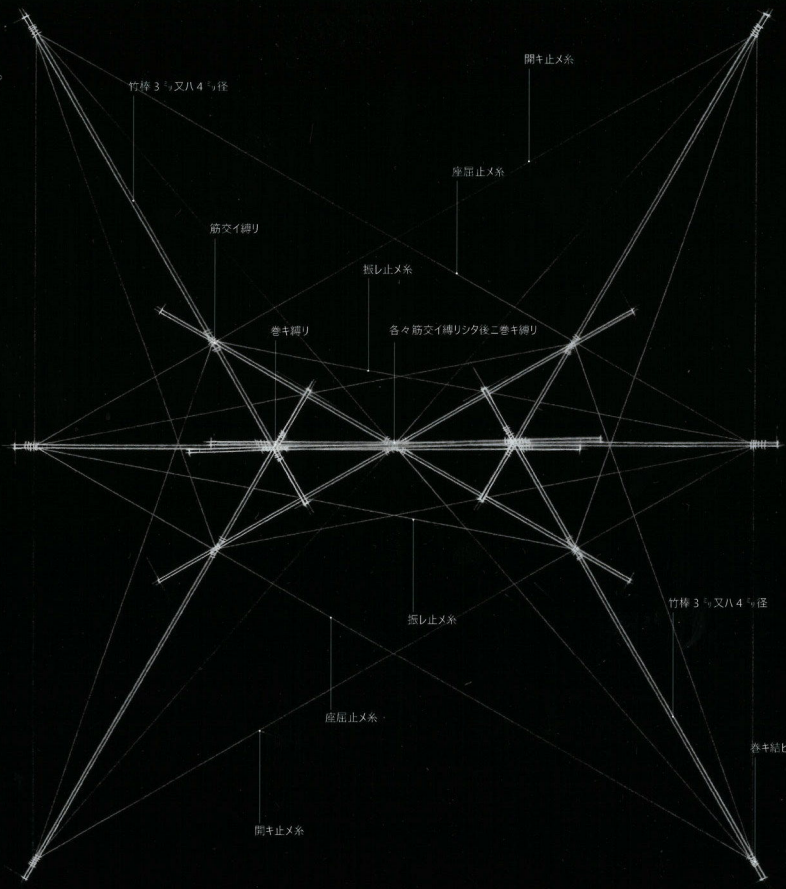
上図:ケトゥンニの組み立て方法*
 左図:小屋組の組み立て方法*
 *林孝二「アイヌの建築文化再考—近世絵画と発掘跡からみたチセの原像」より



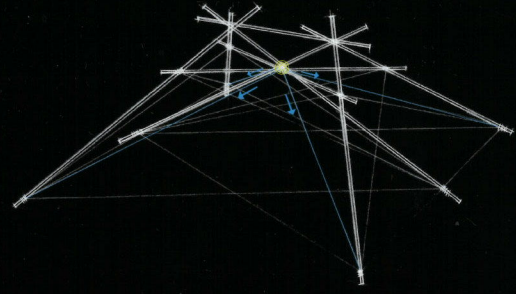
ケトゥンニの高さが低すぎると、脚に加わる圧縮力が大きくなり、不利になる。
 ケトゥンニの高さが高すぎると、脚に加わる圧縮力が小さくなるが、脚が長くなることで座屈(フチャリとはらんで曲がること)しやすくなり、これもまた不利になる。



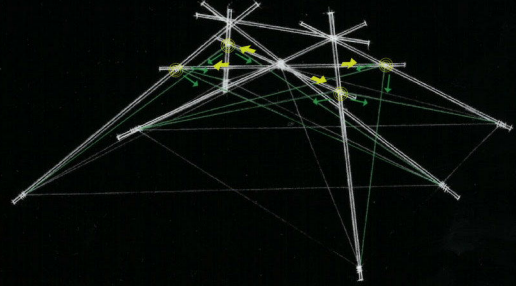
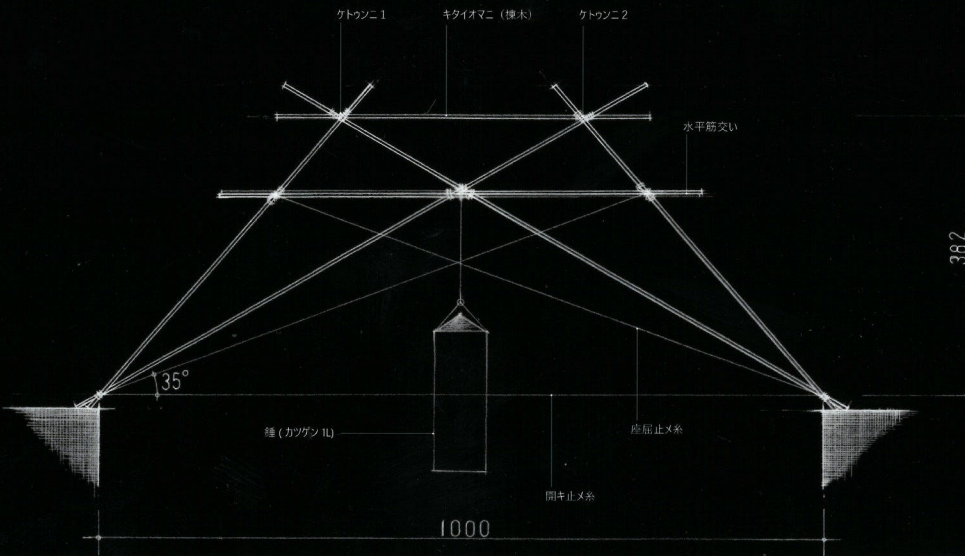
脚に加わる力と、脚の長さによる座屈荷重のバランスを計算してみると、
 脚の仰角が35°の時にもっとも有利であることがわかった。
 (右上写真は、5mmφの竹棒とタコ糸による最適角度のケトゥンニ試作の様子。)



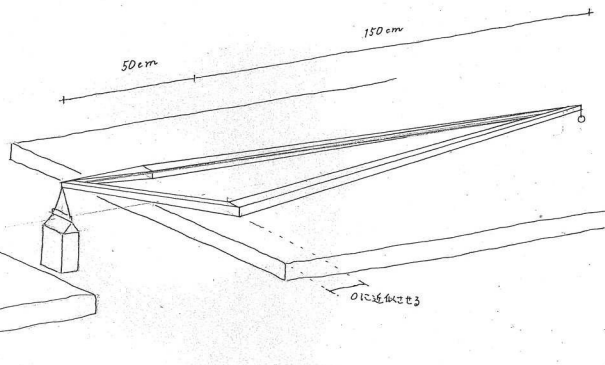
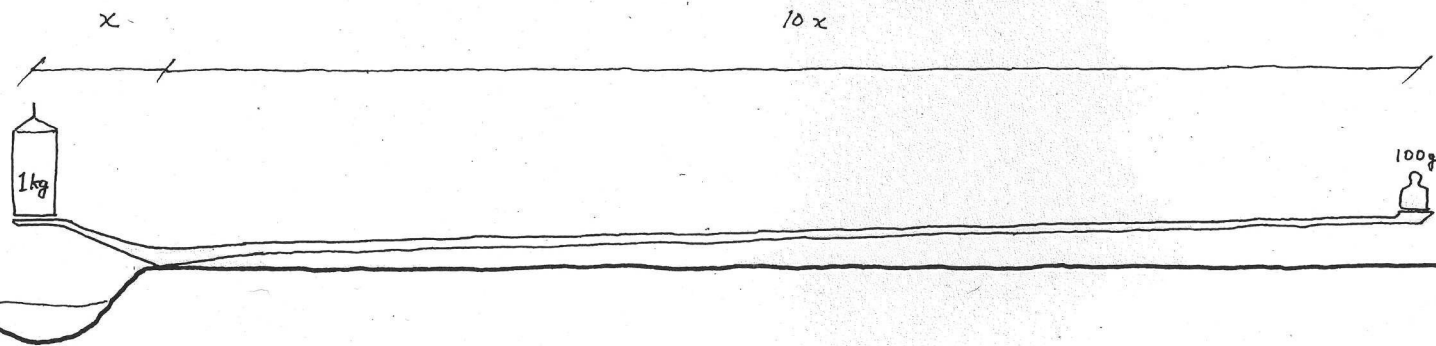
2つのケトゥンニの交点から鍾を吊り下げる。
 キタイオマニ(棟木)が頂点間を押えることで、6本の脚に均等に力が流れる。



四隅からケトゥンニの交点に向かって振れ止め糸を結び、交点の水平移動を拘束する。



水平移動を拘束した交点から水平筋交いを延ばし、外側4本の脚と結ぶ。
 ケトゥンニ脚部から座屈止メ糸を延ばして結び、水平筋交いと協力してケトゥンニ脚がはらみだすのを防ぐ。



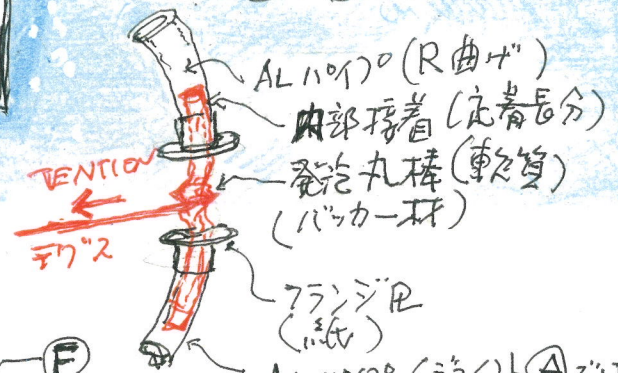
対岸を傷つけないこと

橋を建設する際、時に対岸の地盤状況によって片方の岸に基礎の負荷を集中させる必要があるだろう。
片方のみに基礎をもうけた弥次郎兵衛のような架構を提案する。

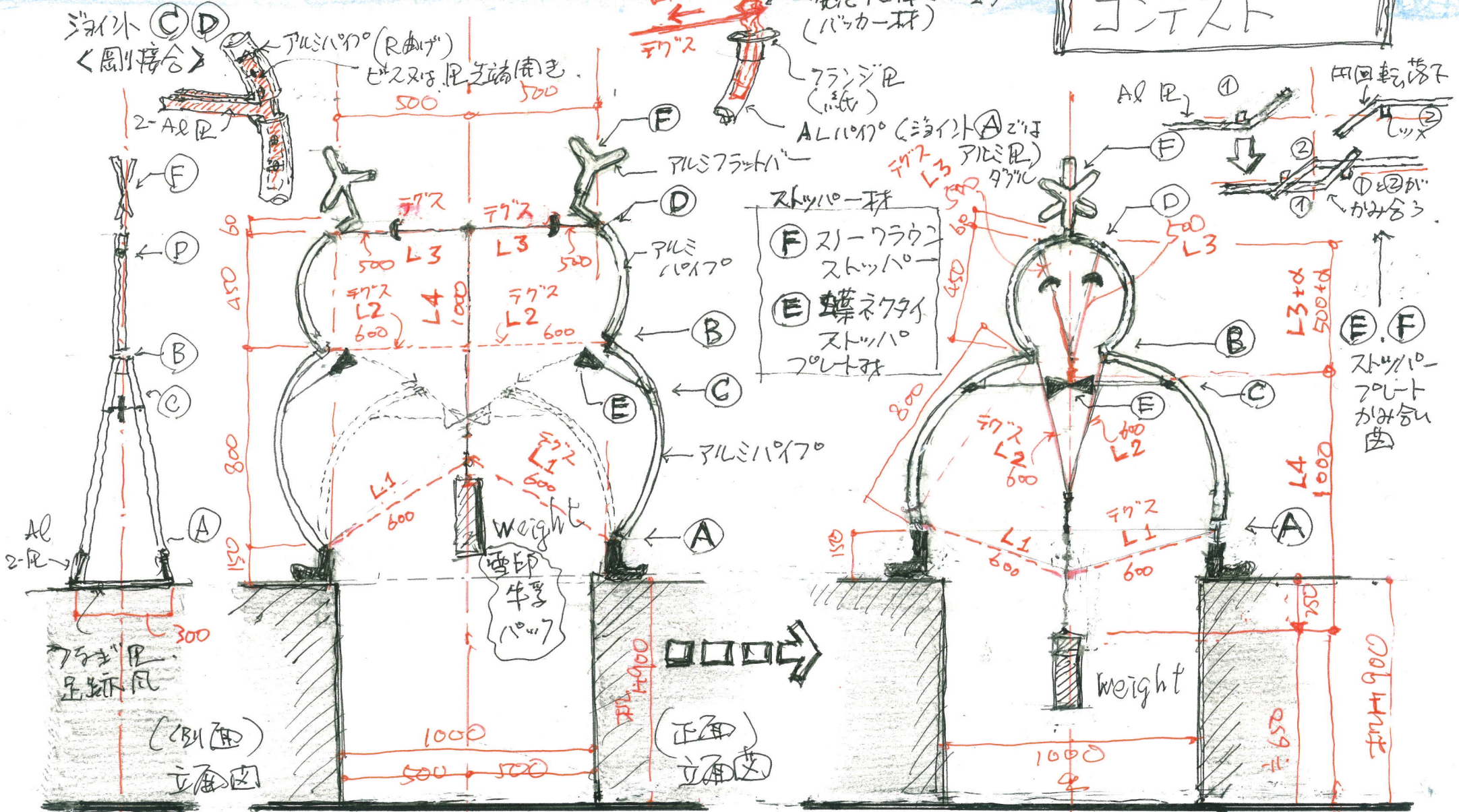
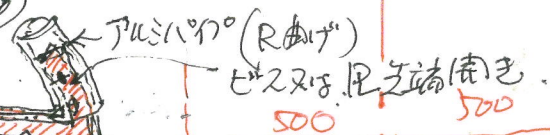
SNOW MAN

ジョイント A, B <軟ピン接合>

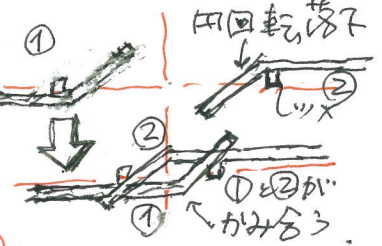
Super Light
Structure
テスト



ジョイント C, D <剛接合>



- 仕様
- (F) シーソーストップ
 - (E) 蝶ネタイストップ



仕様
(E, F) ストップ
かみ合

(側面) 立面図

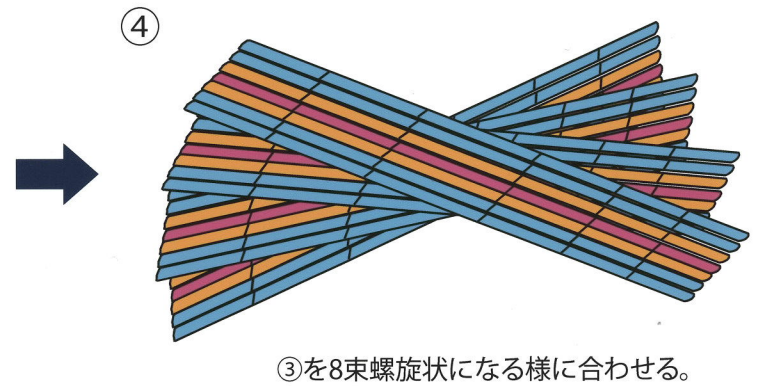
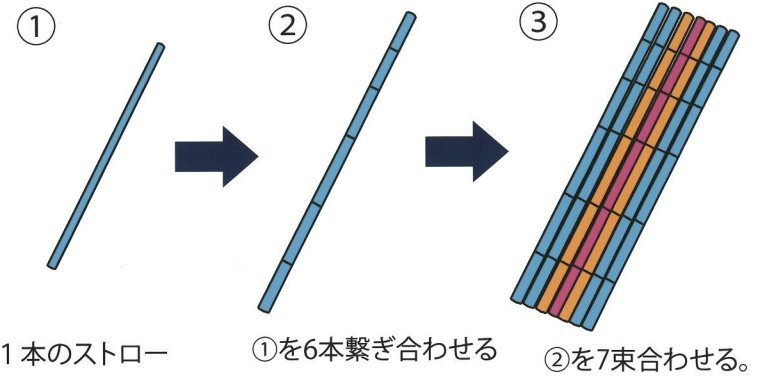
(正面) 立面図

高さ

カツゲンパラグライダー



カツゲンを飲むときに必要なストローを活用した。
 これによって軽量で、カラフルな
 透明感を持つ美しい構造。
 カツゲンを吊り下げたときに、
 ストローの特性が働きパラシュートのような
 アーチが生まれる。



カツゲンを吊るして
いないとき(正面)

カツゲンを吊るして
いないとき(上面)

カツゲンを吊るして
いるとき(正面)

カツゲンを吊るして
いるとき(前面)