

プレストレス木床版の緊張力変化に及ぼす種々の影響

Some Effect on Rod Force Changing of Stress-Laminated Timber Deck

○堀江 保* 米谷 裕* 佐々木 貴信**
HORIE Yasushi, YONEYA Hiroshi, SASAKI Takanobu

*秋田工業高等専門学校 環境都市工学科 (〒011-8511 秋田市飯島文京町1-1)

**秋田県立大学 木材高度加工研究所 (〒016-0876 能代市字海詠坂11-1)

ABSTRACT Maintaining an adequate prestress is the most important aspect of stress-laminated timber deck. With time, the initial level of prestress decreases by creep in the wood. Further more, wood installed in various environmental conditions, wood shrinks when moisture is lost and expands when moisture is gained. The effects of these moisture changes can result in a loss or gain in prestress. Laboratory tests were conducted at constant conditions in a computer-controlled room. And exposure test was enforced in severe environmental conditions. Several characteristics with rod force changing are obtained by analyzing these experimental data.

Keywords : プレストレス木床版、湿度変化、暴露試験

Stress-Laminated Timber Deck, humidity change, Exposure test

1. はじめに

プレストレス木床版がその機能を発揮するために必要な重要事項の一つに、緊張力の維持があげられる。緊張力は、木材のクリープおよびプレストレス鋼棒のレラクゼーションにより、時間の経過に伴い自然に減少するほか、木材の膨張・収縮の影響を直に受ける。特に、橋梁の床版として利用される場合には、自然環境下にさらされるため、緊張力変化特性を十分把握しておくことは、木床版の設計および維持管理において重要と考えられる。

著者等はこれまで、環境条件の内、特に湿度に注目し、恒温恒湿室を利用し、1ヶ月間という短期間ではあるが、湿度減少過程および湿度上昇過程の実験を行い、緊張力の変化特性を検討してきた。その結果、湿度 90%から 30%への減少過程では、1ヶ月間で緊張力が初期値の 20%以下に低下する点、また、湿度 30%から 90%への上昇過程では、緊張力が1ヶ月後に初期値を越えてしまう点が確認できた¹⁾。この実験のようにある一定湿度がある期間持続し、全体として湿度上昇あるいは減少するという現象は、実際の環境下では起こりえないが、木床版を架設する時期およびその後の湿度変化が予測できる場合には、参考になるものと思われる。

本研究では、恒温恒湿室を利用した従来の継続実験と暴露試験の結果を報告する。恒温恒湿室では、代表的湿度として 60%を選択し、その前後の湿度条件による緊張力変化を検討した。その際、実験から得られた結果に関して、緊張力へ及ぼす種々の影響を検討してみた。また、自然環境下におかれた木床版の暴露実験では、床版に温・湿度計を設置し、それと緊張力の関係を検討したほか、気象観測データから降雨量、日照時間を選択し、緊張力に影響を及ぼす種々の影響を検討してみた。

2. 実験概要

恒温恒湿室で用いた供試体は、これまでの実験の継続で、厚さ 2.5cm、幅 10cm、長さ 2m のスギ集成材を 30 枚敷き並べ鋼棒 4 本で締め付けている。両側に支圧板がめり込まないようベイマツ集成材を配置しているので、全体としては高さ 10cm、幅 80cm、長さ 2m のプレストレス床版となる。各鋼棒ごとにひずみゲージにより緊張力変化を測定した。各鋼棒に与えた初期プレストレス力は、2tf で床版平均圧縮応力は $4\text{kgf}/\text{cm}^2$ となる。

ここでは次のケースの実験結果の比較を報告する。温度はいずれの場合も 20°C 一定とした。

60%一定で 30 日間

60% - 30% - 60% を 10 日間ずつ

60% - 90% - 60% を 10 日間ずつ

この実験は、一定湿度状態でもその前の湿度の違いによる影響を調べるために行ったもので、標準的湿度として 60%を選択した。また、60%一定条件の結果との比較により、クリープ以外の湿度変化による影響を調べることが出来る。各実験において、床版の含水率を測定し、その影響を検討したほか、鋼棒の設置位置の影響、緊張力の与え方の影響も検討した。

また、暴露試験は、図-1 に示す厚さ 14cm、幅 1.78m、長さ 6.2m のプレストレス床版を用いて、平成 13 年 12 月より開始し、木材高度加工研究所で行った。この床版は、スギ集成材(75 × 140mm)とベイマツ集成材(140 × 140mm)よりなり、鋼棒 10 本で締め付けられ各鋼棒ごとに約 7tf のプレストレス力で締め付けた。このうち、図に示す No.1 から No.4 の 4 本の鋼棒のひずみを測定し、緊張力の変化を測定した。初めの 3 ヶ月間は屋内に設置し、その後屋外に設置し現在に至っている。これまでに実験開始から 1 週間後、3 ヶ月後、1 年後の 3 回再プレストレスを与えていた。

床版に 3 個の温湿度計を設置し測定しており、それらと緊張力変化の関係を検討したほか、屋外に設置した本試験体は、直接風雨・積雪の影響を受ける厳しい条件下におかれているので、気象観測データとの比較も行ってみた。

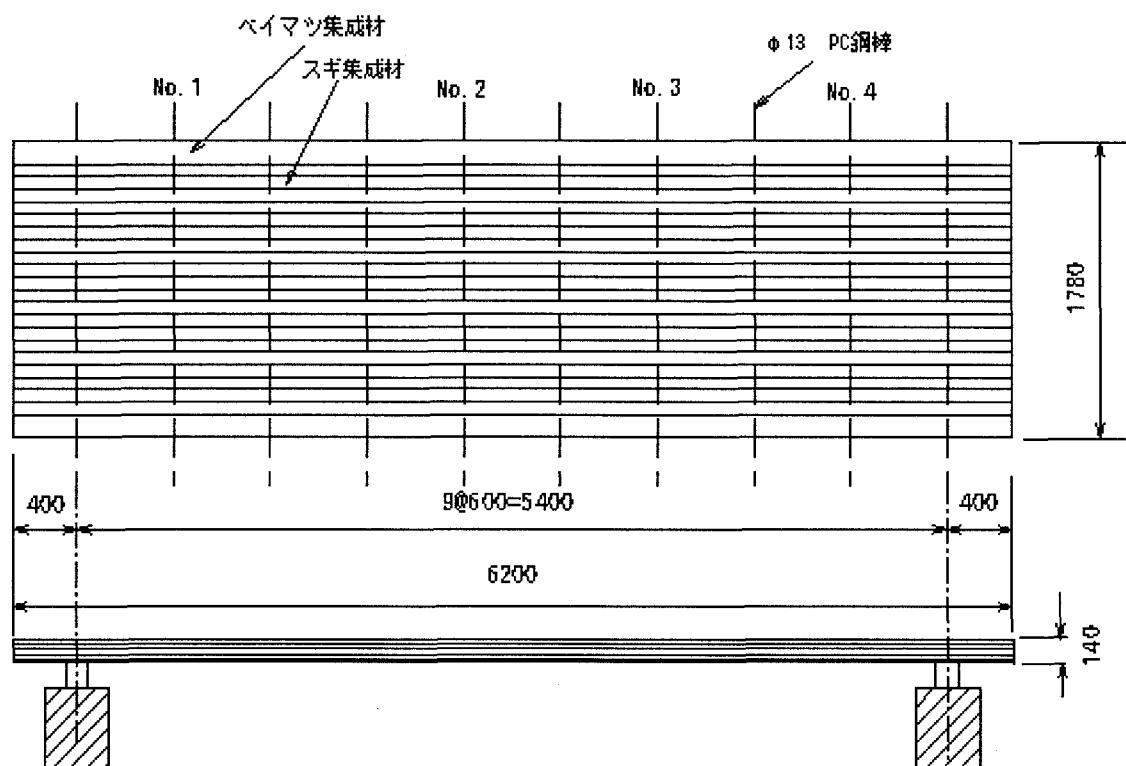


図-1 暴露試験体寸法

3. 実験結果

3. 1 恒温恒湿室の実験結果

恒温恒湿室内で 60%の湿度を基本に緊張力変化を比較した結果を図-2 に示す。縦軸は初期緊張力に対する変化率で、60-30-60%および60-90-60%のケースでは10日ごとに湿度設定を変え、実験期間は30日とした。緊張力は、各鋼棒ごとに測定したひずみより計算し、図は4本の鋼棒の平均値を用いて示した。

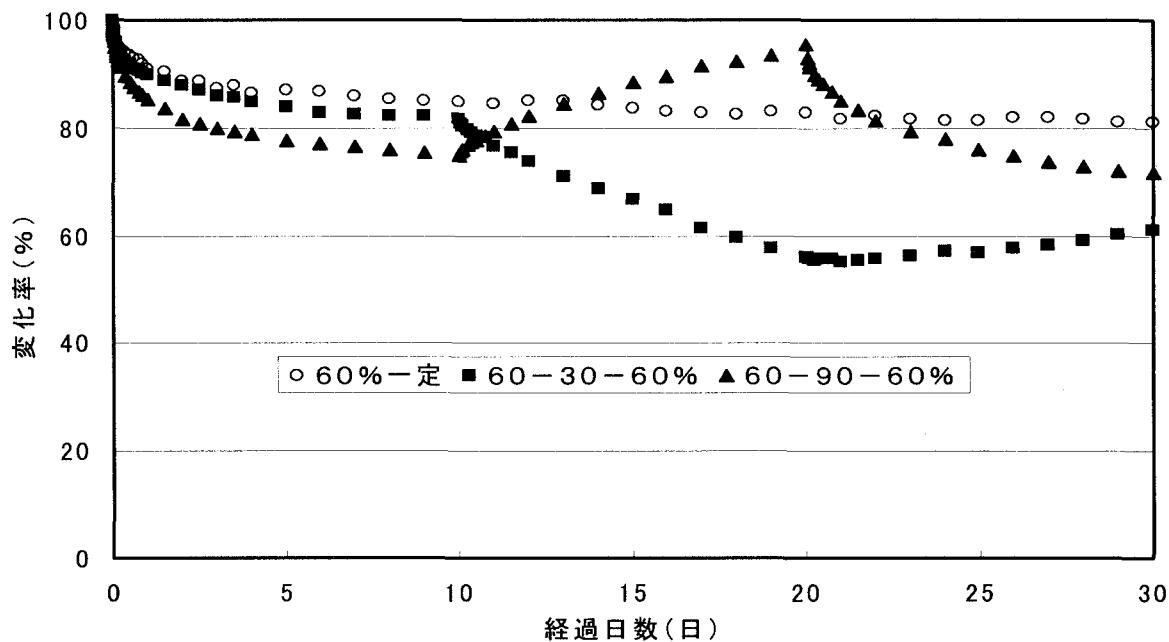


図-2 緊張力変化の比較

60%一定条件での緊張力変化は、木材のクリープおよびPC鋼棒のレラクゼーションのみの影響で、30日間でほぼ20%減少している。60-90-60%と変化させた場合は、いったんクリープにより減少した緊張力が湿度上昇により増加し、20目ではほぼ初期緊張力まで回復している。その後、60%に湿度を下げるとき緊張力は減少し、その減少傾向は最初の10日間とほぼ同じ傾向を示している。20日目の緊張力を基準に20日目以降の実験結果を整理すると、最初の10日間とほぼ重なる変化率が得られた。60-30-60%の変化では、30%に湿度が下がることにより、20日目で60%一定より25%程度緊張力が低下し、10日目までの両者の変化率がほぼ等しいので、この差が湿度変化の影響と考えられる。その後、湿度が60%にもどっても緊張力の増加は数%程度であった。同一湿度(60%)でも、その前の湿度条件により緊張力変化には違いがあらわれ、今回の実験では、30日目で10%程度の差が現れている。緊張力はまだ変化傾向を示しており、日数が経過するとさらに変化し、この差がつまる傾向にあると考えられるが、今回比較したケースでは、初期の10日間は同一湿度にもかかわらず、緊張力変化に差があり、ここでほぼ同じ変化になると、20日以降の差はさらに広がるものと予想される。

60-30-60%の場合、湿度変化に伴う緊張力の変化は、60-90-60%の場合に比較し明確ではない。その原因を検討してみた。図-3に本実験を行った恒温恒湿室内の温度・湿度の計測結果を示す。図には室内の3カ所で測定した温湿度の平均値を各実験を行った日付によりプロットした。図において、湿度30%に設定しても実際には、30%から60%の範囲で湿度が変化している。これは機械の霜取り装置が自動的に働いていたため、従って湿度30%の状態が継続していたわけではない。図-4に同時に測定した床版の含水率変化を示す。これは、床版の合計15

力所の平均値である。この図からも湿度90%から60%での急激な変化に比べ60%から30%ではそれほど明確な変化は見られず、徐々に変化している。これらより、湿度30%で設定しているにもかかわらず、実際にはそれが継続できず、緊張力変化にも影響を及ぼしていたものと考えられる。図-4において、同一湿度60%の条件でも吸湿と放湿での平衡含水率には3%程度の差があることが認められる。

ここで比較した3ケースは、実験開始から10日間は全て60%の湿度条件なので、緊張力変化は等しいはずであるが、実験では差が現れた。この差は10日目で最大約10%になる。本実験では、木材のクリープ以外の湿度による影響を検討しているので、初めの10日間は同じ変化率を示さなければ比較できない。この差の原因を検討してみた。初めに試験開始時の木材含水率の違いと考え、実験開始時と10日目の含水率を比較すると次のようになった。

	初期	10日目
60%一定	10.1%	9.5%
60 - 30 - 60%	11.8%	9.4%
60 - 90 - 60%	9.1%	9.3%

これより、最も緊張力が低下している60-90-60%では、他のケースに比較して含水率の変化が少なく、放湿による緊張力の低下ではないといえる。そこで次に各ケースの緊張力を与える過程を検討してみた。今回の実験では、4本の鋼棒の緊張力を測定しながら、微調整を行い、すべての鋼棒の緊張力が所要の値になるまで繰り返し締付け作業を行った。その過程を示したのが図-5である。図では縦軸に所要の緊張力に対する比、横軸に

経過時間(分)をとっており、4本の鋼棒の平均値を用いた。経過時間0分の時が実験開始を意味している。図より60-90-60%の緊張力導入過程の他の2ケースとの違いは、短時間で所要の緊張力に達している点があげられる。すなわち、他の2ケースでは、目的の緊張力を与えるために締付けたり緩めたりの作業が繰り返され、その間に多少木材のクリープ変形が進行し、実験開始後の緊張力変化に影響を与えたものと考えられる。これまで行ってきた実験においても、同一湿度条件にもかかわらず、緊張力変化に差が現れ、作業時間の影響も検討してきたが、木材の変形が回復する時間も影響しており、明確な結論を得るまでには達していない。各実験を開始

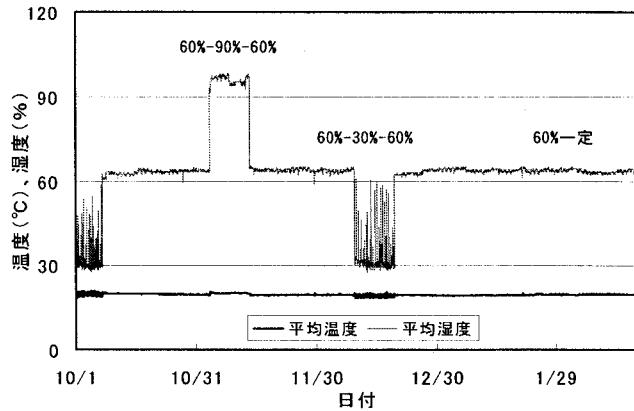


図-3 温度・湿度変化

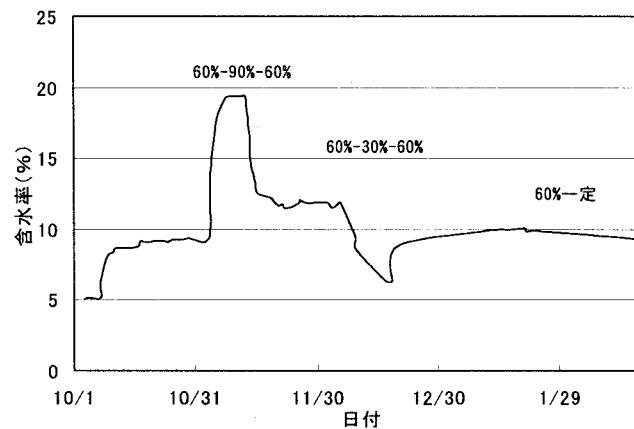


図-4 含水率変化

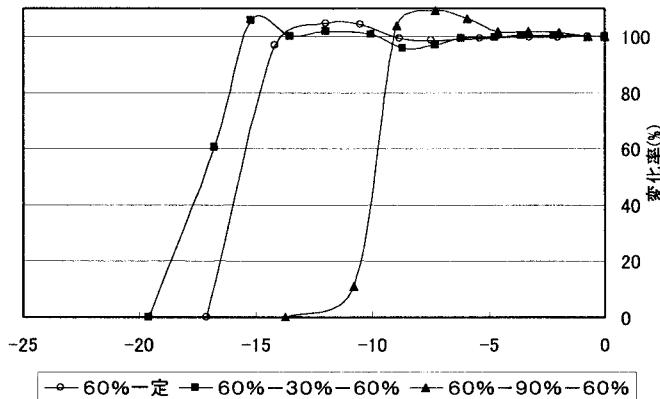


図-5 緊張力導入過程の比較

する前に十分な時間をとり今後、さらに検討を要するものと考えられる。

最後に鋼棒の位置に関する緊張力変化の違いを検討してみた。実験では4本の鋼棒で締付けているが、外側2本と内側2本の鋼棒の緊張力変化を図-6に示す。60-90-60%のケースでは、60%から90%の吸湿過程、90%から60%の放湿過程とも内側より外側の緊張力の変化割合が大きい。また、60-30-60%のケースにおいても、放湿過程、吸湿過程ともに60-90-60%ほど明確ではないが内側と外側の差が認められる。同じ吸湿過程でも60%から90%ではその差がはつきりしているが、30%から60%ではそれほど顕著ではない。これは、図-4に示したように、それぞれの過程における含水率変化量の違いの影響と考えられる。木材の吸湿、放湿は木口面からが最も大きく、実際のプレストレス木床版でも鋼棒の緊張力変化には違いが生じるものと考えられる。

3.2 暴露試験の結果

平成13年12月より、木材高度加工研究所で、載荷実験に用いたプレストレス床版を用いて暴露試験を行っている。10本の鋼棒のうち4本にひずみゲージを貼付し鋼棒の緊張力変化を測定とともに、床版に設置した3個の温湿度計による測定を行っている。屋内および屋外での緊張力変化の違いのほか、再プレストレスによりその変化特性にどのような影響を与えるのか検討している。特に、屋外では直接風雨の影響を受け、さらに冬期間には床版に雪が積もっているという厳しい環境条件である。

図-7に実験開始から現時点までの緊張力変化を示す。緊張力は初期値に対する変化率で表し、4本の鋼棒の外側(No.1と4)および内側(No.2と3)の平均値を用い、1時間ごとの値を示している。実験開始後1週間、3ヶ月で再プレストレスを与え、この時期までは研究所の実験棟内に設置した。その後、屋外に設置し1年後さらに再プレストレスを与えた。2カ所データのない期間があるが、これはデータロガーのトラブルによるものである。屋内での緊張力変化は、多少温・湿度の影響を受けているものの、クリープによる変化が支配的であり、3ヶ月間で約30%減少している。屋外での緊張力は、屋内に比較し1日のうちでもかなりの変化が認められ、クリープによる減少に加え、温・湿度による影響を受けていることがわかる。また、外側と内側の鋼棒では若干の差が認められる。

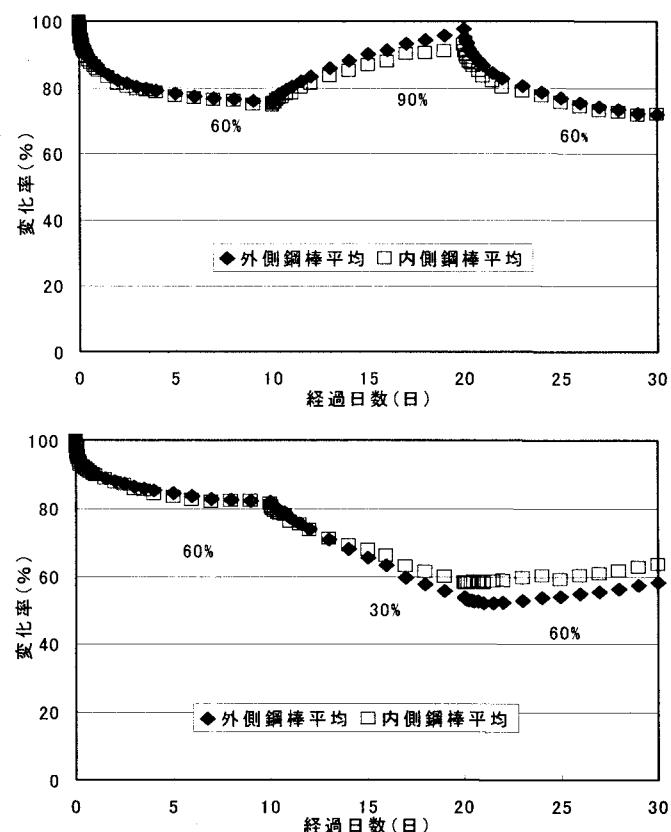


図-6 緊張力の内外鋼棒比較

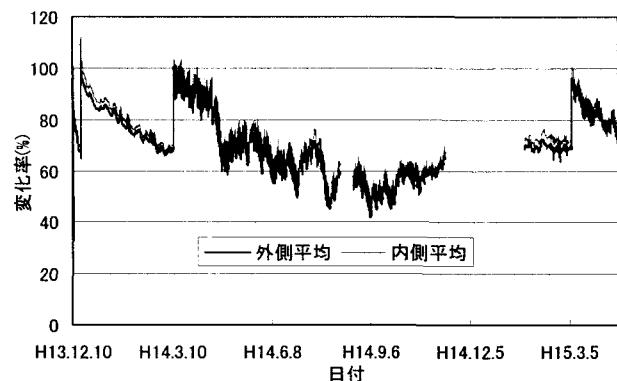


図-7 暴露試験の緊張力変化

図-8に緊張力と湿度の関係を示す。図は屋外に設置した時点から5ヶ月間のデータであり、緊張力、湿度とも1日の平均値を用いた。図より、湿度の上昇、下降に伴い緊張力が増減しているのが顕著に読み取れ、そのピークはほぼ半日の差があることがわかる。他の期間においても同様の傾向が見られた。

次に緊張力と気象条件の関係を検討した。前述のように緊張力は、湿度の影響を受けているが、特に、厳しい環境条件に設置された床版では、気象条件との関連も大きいものと考えられる。また、短期間の緊張力変化は、湿度によって説明できるが、長期間の変化は、別の要因が関係してくると思われた。気象庁の観測データのうち降水量と日照時間を選択し、緊張力と比較してみた。図-9に降水量との関係、図-10には日照時間との関係を示した。ここで、緊張力は1日の平均値を用いている。図より雨が数日間降り続いた後は緊張力の増加が見られ、また、数日間雨が降らない後には減少しているのがわかる。また、120日以降および230日以降の緊張力の減少傾向には、その前に続いた日照りが影響しているものと考えられる。このように長期的、季節的な緊張力の変動には、気象条件が大いに関係していることがわかる。

4. まとめ

恒温恒湿室において、湿度条件を設定した実験から、同一湿度条件でもその前の湿度の影響を受けることがわかった。クリープ以外の湿度による緊張力変化を定量的に求めようとしたが、吸湿・放湿による平衡含水率の違い、緊張力導入過程の違い、実験開始までの床版の養生等が関係しさらに検討を要することがわかった。暴露試験では、湿度変化が緊張力に密接に関係し、さらに長期的な変動には降水量、日照時間の気象条件が関係していることがわかった。現在、暴露試験は継続中であり、再プレストレス導入後の緊張力変動等に関しては今後の課題としたい。

参考文献

- 成田圭介、米谷裕、堀江保：プレストレス木床版の湿度変化特性に関する研究、木橋技術に関するシンポジウム論文報告集、pp.33-38,2001.

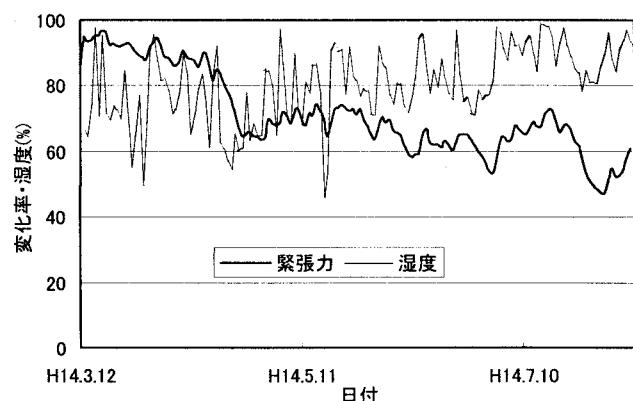


図-8 緊張力と湿度の関係

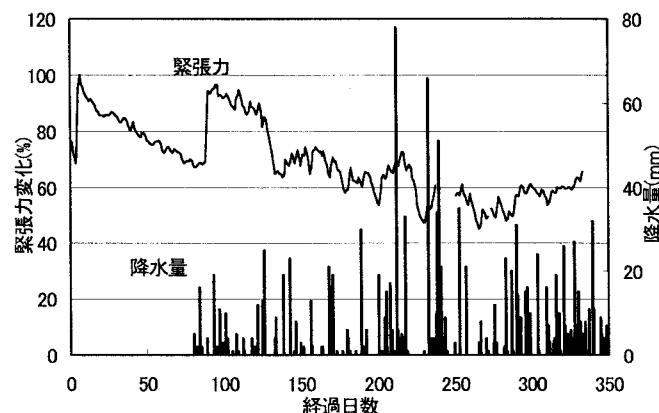


図-9 緊張力と降水量の関係

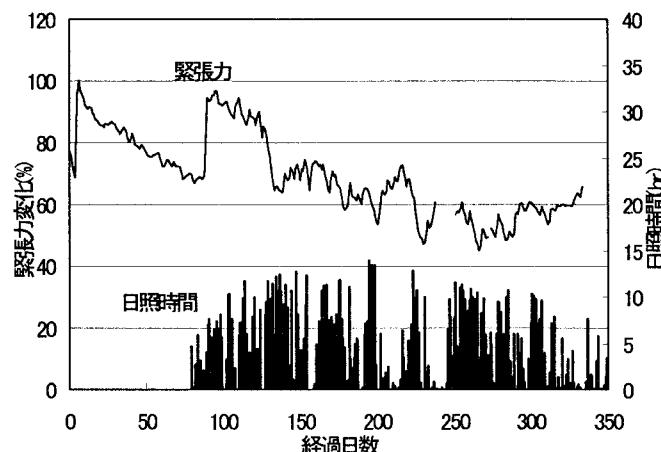


図-10 緊張力と日照時間の関係

暴露試験では、湿度変化が緊張力に密接に関係し、さらに長期的な変動には降水量、日照時間の気象条件が関係していることがわかった。現在、暴露試験は継続中であり、再プレストレス導入後の緊張力変動等に関しては今後の課題としたい。