

機関番号：12608
 研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20360249
 研究課題名（和文） 暴風環境化下における金属・メンブレン防水屋根の耐風性評価
 研究課題名（英文） Wind Resistance Evaluation of Waterproofing Membranes and Metal Sheet Roofs during Strong Wind
 研究代表者
 田中 享二（Kyoji Tanaka）
 東京工業大学・応用セラミックス研究所・教授
 研究者番号：40016829

研究成果の概要（和文）：

金属・メンブレン防水層の性能のひとつとして耐風性は重要である。この中で近年普及の著しい金属・メンブレン機械的固定工法では、防水層が部分的にしか下地に固定されていないため、台風時に破損する事故が多発している。この問題解決のために、強風時における防水層の挙動を、実大試験体を用いた風洞実験、台風時の屋外観測により調べ、鉛直吸い上げ力に加えて、大きな横力も発生していることを見出した。この知見をもとに防水層の耐風性評価試験装置を開発し、これら工法の耐風性評価を可能とした。

研究成果の概要（英文）：

There have been many failures in mechanically anchored waterproofing systems by heavy storms. The behavior of them during a strong wind was studied through wind tunnel tests and observation in typhoons. We found out lateral force as well as uplift vertical force simultaneously acting on fixing devices. Based on the new findings, some test apparatuses were developed for estimating the wind resistance of mechanically anchored waterproofing systems.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	7,300,000	2,190,000	9,490,000
2009年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2010年度	1,900,000	570,000	2,470,000
年度			
年度			
総計	12,400,000	3,720,000	16,120,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：耐風性、暴風、防水層、機械固定工法、吸い上げ力、横力、試験装置、風洞実験

1. 研究開始当初の背景

暴風時に防水層や金属板屋根には上方へ吸い上げる風圧力が作用する。特に近年普及の著しい機械的固定工法では、それらが下地に部分的にしか固定されていないため、固定部には大きな力が作用し、その部分から損傷の発生する可能性がある。そして実際 2004年の台風時には、数多くの防水層で被害が生じた。

もちろんこれら防水層では、強風に対して安全となるように、耐風設計はなされており、本来ならば被害は発生しないはずであるが、それでもなお被害が発生したということは、まだ耐風性に関しては未知のことが多いことを意味している。そのため改めて防水層の台風時の挙動を明らかにし、それを基にした耐風性評価方法を開発し、防水層の耐風性評価を行う必要が生じた。海外でも、特にハリ

ケーンの襲来に見舞われるアメリカではカナダとの連合チームで研究を進め、機械的固定工法防水層の耐風性評価試験方法を開発しているが、実情は我が国と同様に、強風被害が今もってなくならない状況にある。

2. 研究の目的

- (1) 主としてメンブレン防水層のうち特に耐風性が懸念される、機械的固定工法防水層の強風時の挙動を、実防水層を用いた実測により明らかにする。
- (2) 観測された挙動をもとに、実情に合う耐風性評価のための試験装置を開発し、試験方法を整備する。
- (3) 開発された試験機を用いて、実際に実務で使われている機械的固定工法防水層の試験を行い、耐風性能を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 機械的固定工法防水層の強風時の挙動

① 風洞を用いた挙動の観測

図1に示すように、実際の機械的固定工法防水層（幅2.4m、長さ3m）の試験体を風洞内に設置し、防水層のふくれ高さ、防水層のひずみ、ファスナー部に加わる力を、風速38.6m/sまでの範囲で測定した。金属板屋根については写真1に示すような折板屋根を風洞内に設置し、同様の測定を行った。

② 実建物を用いたの

台風時の挙動の測定

沖縄県宮古島に写真2に示す試験棟（高さ3m、屋根面積6m×6m）を建設し、図2に示すように防水層を施工し、台風時に同様の測定を行った。ここでの測定の特徴は、6分力計を用いて鉛直力に加えて横力も測定できるようにした点にある。

(2) 試験装置の開発

まず試験装置で再現させる現象を検討し、試験装置の具備すべき条件を整理した。それらを基に、いくつかの試験装置を開発した。

(3) 機械的固定工法防水層の試験

現在我が国で、一般的に使用されている機械的固定工法防水層の、コンクリート下地を想定した場合とデッキプレートを想定した場合について、構成部材を変化させながら、風速に見合う外力を負荷させ繰り返し試験を行った。

4. 研究成果

- (1) 実スケール防水層（試験体面積2.4m×3.0m）のファスナー部に6分力計を組み込み、風洞試験を行った。いくつかの測

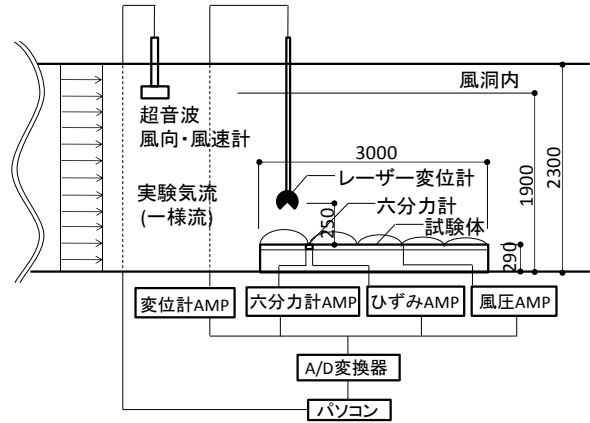


図1 風洞実験概要

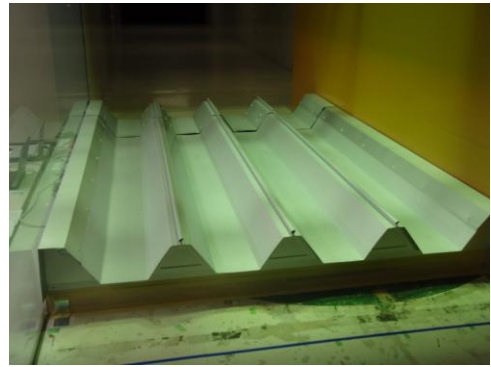


写真1 金属板屋根の実験状況



写真2 試験棟(縦6m×横6m×高さ3m)

定より、鉛直上向き方向の引き抜き力と同時に、横方向への力も発生していることを見出した。これは図3に示すように風上と風下ではふくれ高さが異なるために生じるものであり、従来の耐風性評価では欠落していた重要な知見である。

- (2) 金属板屋根についても、鉛直上向きの力と同様に横力も観測されたが、それ程大きなものではなかった。従って金属板屋根では横力については考慮しなくても良いと考えられた。

(3) 沖縄県宮古島の試験棟で、台風 8 号 (2009. 8. 7-8) 時に、防水層固定部の測定を行い、10 分間最大風速は 15m/s と中規模のものであったが、図 4 に示すように固定部で 150N を超える鉛直力、同時にそれと同程度の横力も観測した。この横方向の力の存在は、世界ではじめて見出したものであり、この研究の最大の成果である。またこれらの観測から風速、風圧力、ファスナー軸力間の関係を明らかにした。これは防水層耐風設計の基本フレーム構築時の基本データとして活用できる重要な成果である。

(4) 防水層外周に作られるパラペットの影響については、台風 20 号 (2009. 10. 24-25) で観測した。パラペットがあると、屋根部分の防水層の風環境としてはやや穏やかになり、防水層の固定部に生じる鉛直力、横力は、無い場合に比べて、概ね半分程度まで低下すること、またパラペット立ち上がり部の内側に作用する風圧力は、屋根面風圧力とほぼ同様な傾向にあることを明らかにした。

(5) 実防水層の下面から圧縮空気を用いて 2 個のエアバッグを加圧し、防水層をふくれ上がらせる、写真 3 に示す試験装置を開発し、人工的に強風時の防水層挙動を再現する試験を行った。防水層ふくれ高さ、ファスナーに作用する力を測定し、加圧力と防水層の関係を明らかにした。この結果は台風時の挙動とほぼ一致していることを確認し、今後開発する簡易的な耐風試験方法作成に有益な知見を得た。

(6) 前述のエアバッグ法は、実際に近いふくれ状態を再現するが、試験が大変であることを鑑み、直径 600mm φ のリング状試験体を用いて、これを動かし鉛直力と横力を固定部に作用させる、より取扱の容易な写真 4 に示す簡易的試験装置をさらに開発した。これは実際の台風の時に観測される負荷の繰り返しも比較的容

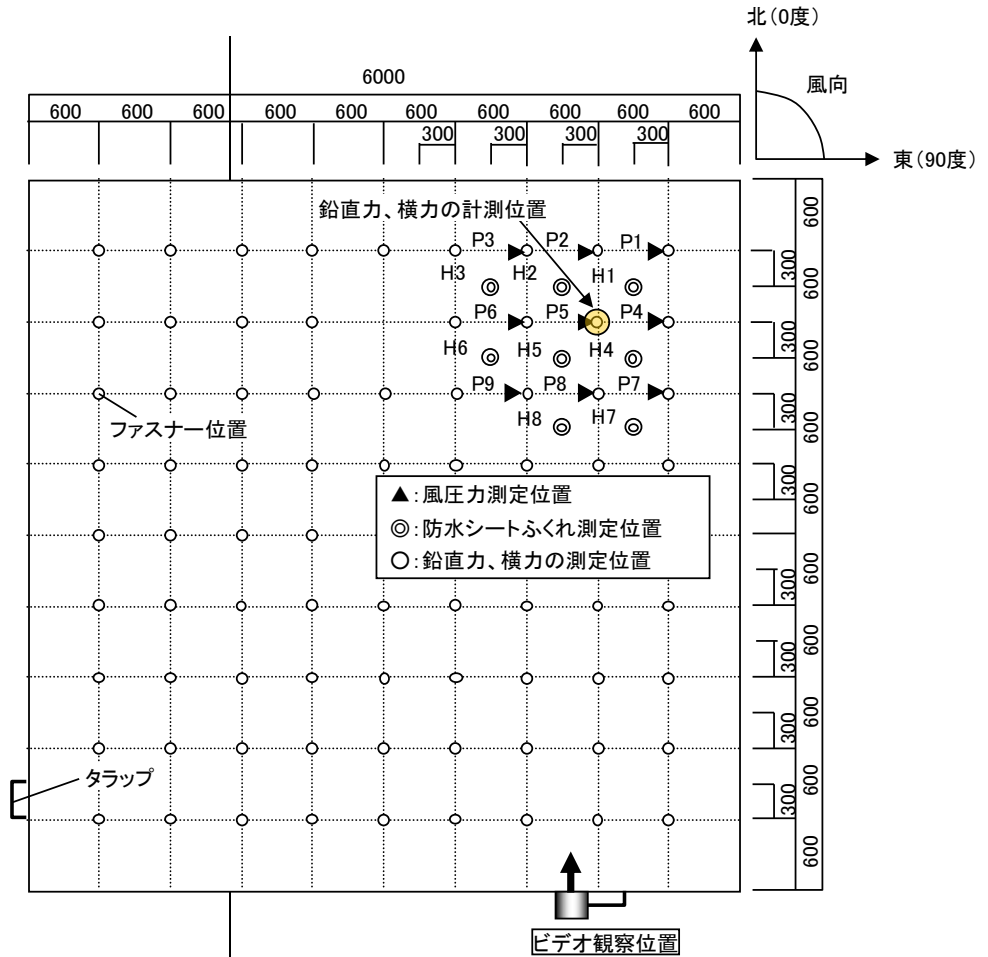


図2 防水層試験体と各種測定

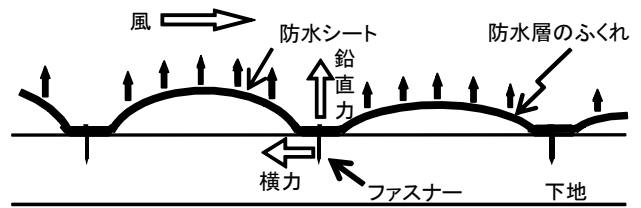


図3 風の吸い上げ力による防水層のふくれ状態と横力の発生

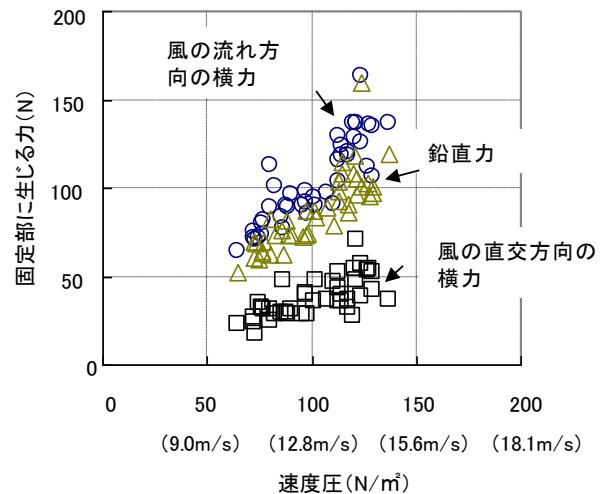


図4 固定部で観測された鉛直力と横力



写真3 開発したエアバッグ耐風性評価試験装置

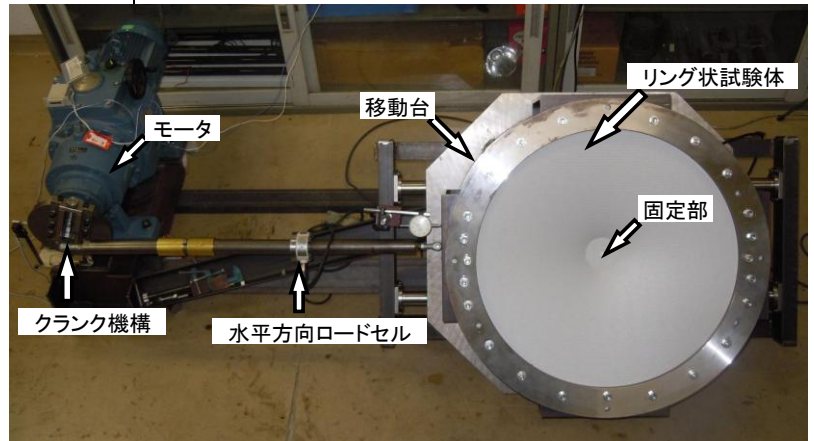


写真4 開発したリング状試験体による耐風性評価試験装置

易に作用させることができる。

- (7) 新たに開発した試験装置を用いて、現在わが国で使用されている、種々の機械的固定工法防水層の試験を行った。試験結果は従来の台風の後の実際の損傷と同様の損傷モードを再現しており、試験層装置としての有用であることを確認した。さらに負荷条件を厳しくした試験により、現行の防水層の弱点を指摘することができた。
- (8) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクトであるが、国内に対しては、強風時の機械的固定工法防水層固定部に作用する横力の発見が、従来の耐風設計法の見直しをせまっており、この分野に大きな影響を及ぼしている。また観測結果をもとにして新しく提案した鉛直力と横力を同時に作用させる試験装置は、従来の試験機では見出せなかった損傷モードを次々と明らかにしており、現在この装置を使っての防水層の耐風性向上技術開発研究が活発している。さらに海外に対する影響としては、横力の存在の発見が世界的関心を呼んでおり、特にこの分野の研究を世界的にリードしていたカナダ国立建築研究所の研究グループから、急遽、共同研究の申し出があり、現在同グループと共同研究が進行中である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

- (1) 加藤信男、本田宏武、宮内博之、中村修二、田中享二：機械的固定工法による防水システムの耐風性に関する研究—加圧試験と風洞試験による防水システムの性状変化について；日本建築学会構造系論文集、650 巻、pp. 709-714、2010、査読有

- (2) 田中享二、チャーダラブット、林涛、加藤信男、中村修二：機械的固定工法による防水層の簡便な耐風性評価試験方法の開発；日本建築学会構造系論文集、656 巻、pp. 1789-1794、2010、査読有

- (3) 宮内博之、加藤信男、本田宏武、中村修二、田中享二：台風 0908 号における防水シートの挙動（宮古島での台風時における機械的固定工法防水層の挙動の実測・その 2）；日本建築学会構造系論文集、656 巻、pp. 1795-1802、2010、査読有

- (4) Hiroyuki Miyauchi, Nobuo Katou and Kyoji Tanaka : Behavior of mechanically anchored waterproofing membrane system under wind suction and uniform pressure ; Building and Environment , No. 46 , pp. 1047-1055、2010、査読有

- (5) Nobuo Katou, Hiroyuki Miyauchi, shuuji Nakamura and Kyoji Tanaka : Behavior of mechanically anchored waterproofing membrane exposed during Typhoon, Part 1: Characteristics of wind and wind pressure; Fifth European & African Conference on Wind Engineering, pp. 391-394、2009、査読有

- (6) Hiroyuki Miyauchi, Nobuo Katou and Kyoji Tanaka : Behavior of mechanically anchored waterproofing membrane exposed during Typhoon, Part 2: Relationrane; Fifth European & African Conference on Wind Engineering, pp. 395-398、2009、査読有

- (7) Tamura, T. : Large eddy simulation on building aerodynamics ; Proceedings of the Seventh Asia-Pacific Conference on Wind Engineering, pp. 131-157、2009、査読有

(8)宮内博之, 加藤信男, 市川裕一, 田中享二: 宮古島での台風時における機械的固定工法防水層の挙動の実測 (その1 強風時における防水シートの挙動); 日本建築学会構造系論文報告集、634 巻、pp. 2077-2084、2008、査読有

(9)Hirokazu Ichikawa, Nobuo Kato, Hiroyuki Miyauchi, Kyoji Tanaka: Wind Tunnel Tests of Various Mechanically Anchored Waterproofing Membranes; Proceedings of the Eleventh International Conference on Durability of Building Materials and Components, 11dbmc、pp. 1107-1115、2008、査読有

(10)宮内博之, 加藤信男, 市川裕一, 田中享二: 宮古島での台風時における機械的固定工法防水層の挙動の実測; 風工学シンポジウム論文集、20 巻、pp. 74-78、2008、査読有

[学会発表] 計 (23) 件

(1)林涛, 田中享二: 機械的固定工法による防水層の簡便な耐風性評価試験方法: 日本材料学会 関東支部 学生研究交流会、2010. 10. 16、東京

(2)林涛, Daravuth CHEA, 加藤信男, 田中享二: 機械固定工法による防水層の耐風性評価試験方法 その1 エアバッグによる試験方法、日本建築学会大会、2010. 9. 9、富山

(3)Daravuth CHEA, 林涛, 加藤信男, 田中享二: 機械的固定工法による防水層の耐風性評価試験方法の開発 その2 小形ディスク試験体を用いる試験方法、日本建築学会大会、2010. 9. 9、富山

(4)中村修治, 宮内博之, 加藤信男, 田中享二: 強風下における機械的固定工法による防水層の挙動 その4: 宮古島での実測概要と台風 0908 号、台風 0920 号の性状、日本建築学会大会、2010. 9. 9、富山

(5)福田杉夫, 宮内博之, 加藤信男, 田中享二: 強風下における機械的固定工法による防水層の挙動 その5: 防水シートのふくれとファスナーに加わる鉛直力・横力、日本建築学会大会、2010. 9. 9、富山

(6)本田宏武, 加藤信男, 宮内博之, 田中享二: 強風下における機械的固定工法による防水層の挙動 その6: パラペットを設置した屋根面の風力、日本建築学会大会、2010. 9. 9、富山

(7)加藤信男, 宮内博之, 田中享二: 強風下における機械的固定工法による防水層の挙動 その7: パラペット有無による防水シートの挙動、日本建築学会大会、2010. 9. 9、富山

(8)Tao Lin, Kyoji Tanaka and Nobuo Kato: Development of Wind Resistance Test Method for Mechanically Anchored Waterproofing Membranes; 第10回日韓建築材料・施工 Joint Symposium、2010. 9. 6、札幌

(9)Hiroyuki Miyauchi, Nobuo Kato and Kyoji Tanaka: Behavior of Fastener Area under Dynamic Wind Load of Mechanically Anchored Waterproofing Membrane Exposed during Typhoon; International Conference on Building Envelope Systems and Technologies、2010. 6. 28、Vancouver, Canada

(10)Nobuo Kato, Hiroyuki Miyauchi and Kyoji Tanaka: Characteristic Difference of Mechanically Anchored Waterproofing Membrane System in Pressure Test and Wind Tunnel Test; International Conference on Building Envelope Systems and Technologies、2010. 6. 28、Vancouver, Canada

(11)渡部智之, 加藤信男, 本田宏武, 宮内博之, 田中享二: 機械的固定工法による防水システムの耐風性に関する研究 (その1 下面からの加圧試験による防水システムの挙動)、日本建築学会大会、2009. 8. 26、仙台

(12)加藤信男, 本田宏武, 中村修治, 宮内博之, 田中享二: 機械的固定工法による防水システムの耐風性に関する研究 (その2 風洞実験によるファスナーの挙動について)、日本建築学会大会、2009. 8. 26、仙台

(13)宮内博之, 加藤信男, 本田宏武, 中村修治, 田中享二: 機械的固定工法による防水システムの耐風性に関する研究 (その3 風洞実験による防水シートのひずみとふくれ高さについて)、日本建築学会大会、2009. 8. 26、仙台

(14)福田杉夫, 金丸和樹, 亀井雅弘, 中沢裕二, 加藤信男, 田中享二: シート防水層の固定工法による耐風性に関する研究 (その1; 線状固定工法と点状固定工法の下面からの加圧試験結果)、日本建築学会大会、2009. 8. 26、仙台

(15)金丸和樹, 福田杉夫, 亀井雅弘, 中沢裕二, 加藤信男, 田中享二: シート防水層の固定工法による耐風性に関する研究 (その2; 線状工法の風洞試験)、日本建築学会大会、

2009. 8. 26、仙台

(16) CHEA DARAVUTH, 加藤信男, 宮内博之, 田中享二: 宮古島での台風時における機械的固定工法防水層の挙動の実測 (ファスナーに生じた荷重)、日本建築学会大会、2009. 8. 26、仙台

(17) 古澤洋祐, 加藤信男, 宮内博之, 田中享二: 実大建物を用いた防水層下面からの加圧による機械的固定防水工法の耐風性評価 (ファスナー周りのシートの挙動とファスナーに伝達される力の計測)、日本建築学会大会、2009. 8. 26、仙台

(18) 中村修二, 宮内博之, 加藤信男, 市川裕一, 田中享二: 強風下における機械的固定工法による防水層の挙動 (その 1: 試験棟概要と台風の性状)、日本建築学会大会、2008. 9. 18、広島

(19) 金子英敏, 宮内博之, 市川裕一, 加藤信男, 田中享二: 宮古島での台風時における機械式固定工法防水層の挙動と実測 (その 2: 強風時における防水シートの挙動)、日本建築学会大会、2008. 9. 18、広島

(20) 加藤信男, 宮内博之, 市川裕一, 田中享二: 強風下における機械式固定工法による防水層の挙動 (その 3: 風圧力と防水層の吸い上げ挙動の関係)、日本建築学会大会、2008. 9. 18、広島

(21) 宮内博之, 加藤信男, 田中享二: 機械的に固定された防水層の簡易的耐風性試験の提案、日本建築学会大会、2008. 9. 18、広島

(22) 市川裕一, 加藤信男, 宮内博之, 田中享二: 強風下における機械的固定工法による防水層の挙動 (その 5: 防水材料の機械的性質による影響); 日本建築学会大会、2008. 9. 18、広島

(23) Hiroyuki MIYAUCHI, Nobuo KATO, Hirokazu ICHIKAWA, Kyoji TANAKA: Behavior of a Mechanically Anchored Waterproofing Membrane Exposed during Typhoon No.12 at MIYAKO Island; 9th Korea/Japan Joint Symposium on Building Materials & Construction、2008. 8. 7、大田、韓国

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 享二 (KYOJI TANAKA)
東京工業大学・応用セラミックス研究所・教授

研究者番号: 40016829

(2) 研究分担者

田村 哲郎 (TETSURO TAMURA)
東京工業大学・総合理工学研究科・教授
研究者番号: 90251660

宮内 博之 (HIROYUKI MIYAUCHI)
元・東京工業大学・応用セラミックス研究所・助教
研究者番号: 40313374