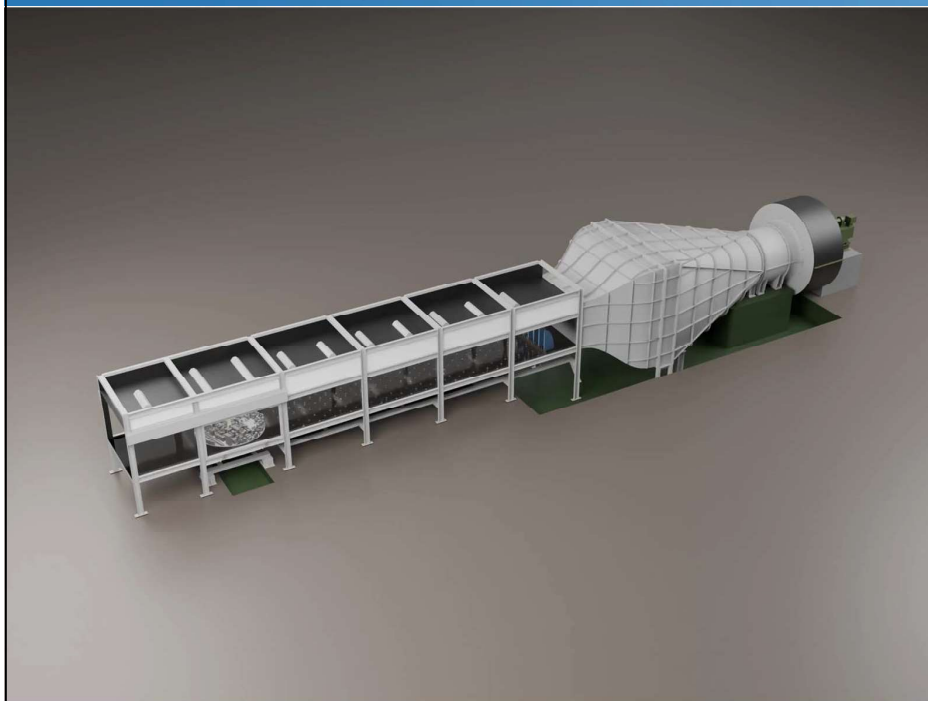


GBRC 創立60周年記念セミナー 高層建築物等の風洞試験と 最新の関連技術 －数値流体解析や3Dプリンターの活用－

2024年10月2日 環境部 耐風試験室



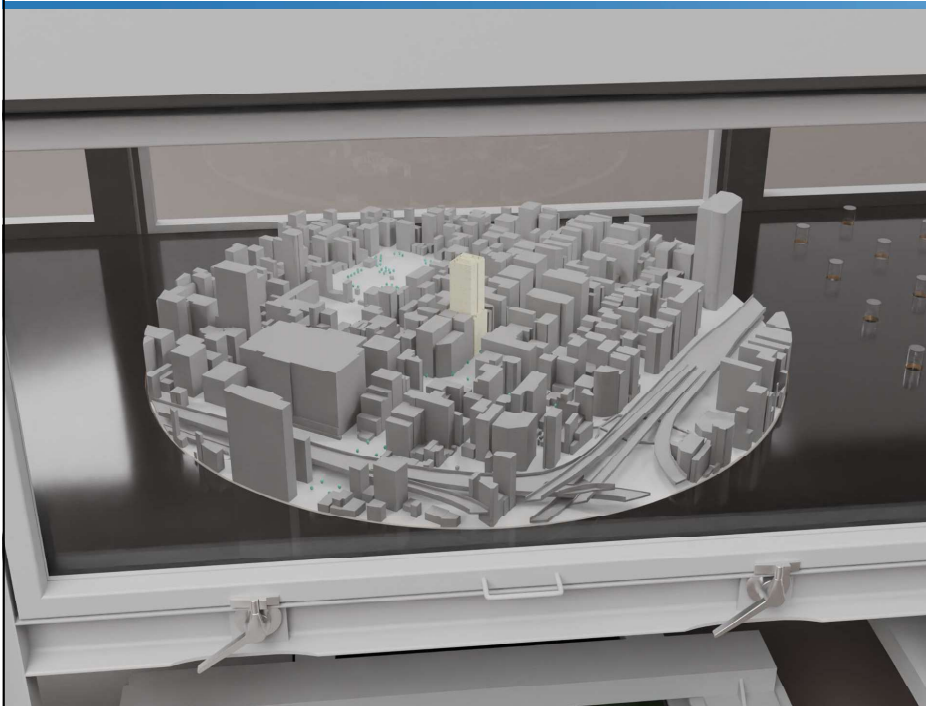
風洞装置の概要



名称：エッフェル型吹出式
境界層風洞
全長：約19m
計測筒断面：
幅1.8m×高さ1.2～1.4m
最大風速：約20m/s

特徴：
・建築物の模型実験用の設計
・大気境界層の風と相似な特性
の気流を作成可能
・トラバース装置を装備
(風向・風速測定に使用)

ターンテーブルに設置する模型



- ・ ターンテーブル直径：1.6m
- ・ 模型の縮尺：1/300～1/600
(超高層建築物の場合)

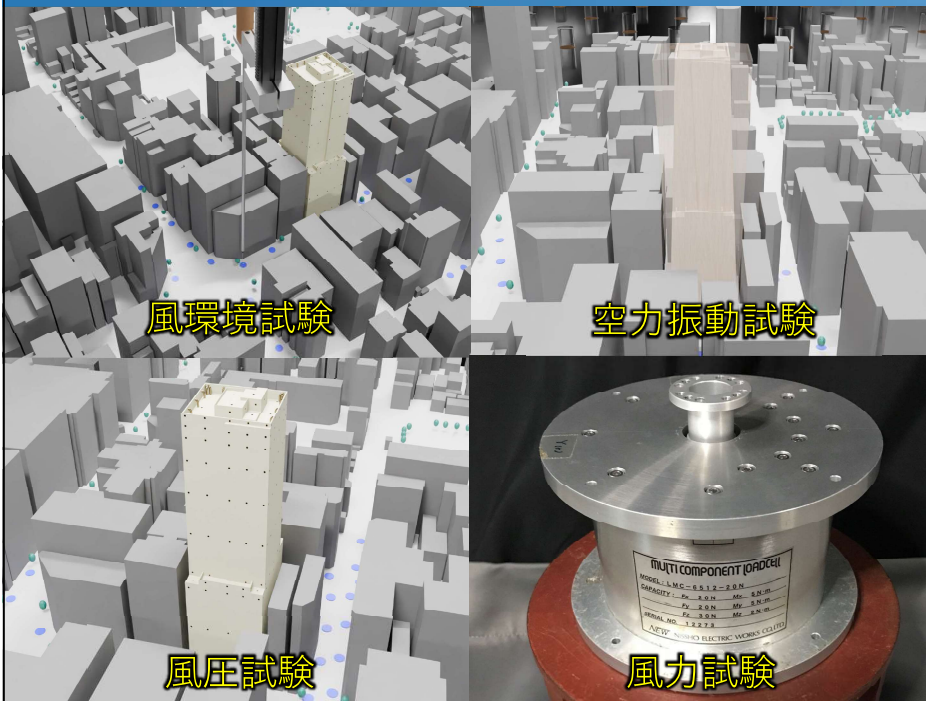
【例】

高さ100mの計画建築物を1/400で模型化

計画建築物の高さ：250mm

市街地再現範囲：半径320m

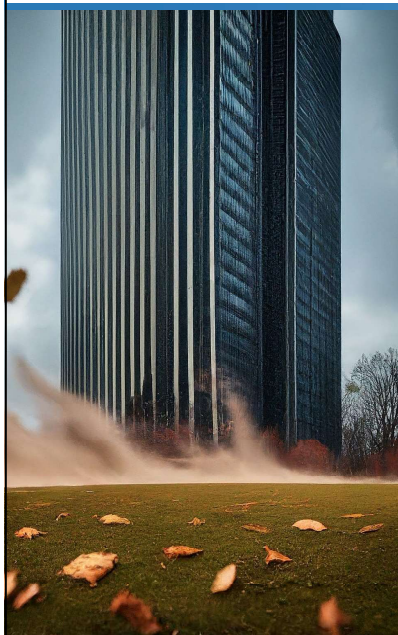
風洞試験の内容



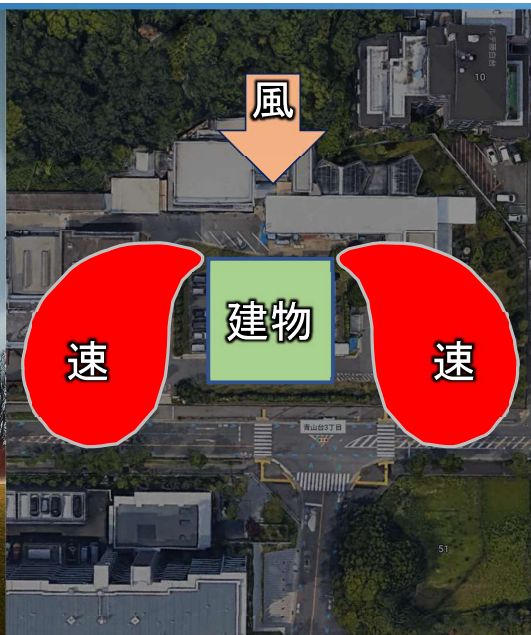
主な試験内容

- ・ 風環境試験
- ・ 風圧試験
- ・ 空力振動試験
- ・ 風力試験

風環境試験の目的



ビル風



地表面付近の増速範囲

高層建築物が建設されたときの周辺風環境^{注)}の変化を予測する。風環境が悪化すると予想される場合には、防風対策案の有効性についても検討する。

注) 屋外に居る人間に対する風環境
→歩道上など、人間が居る場所に評価点を設定。
(鉄道の軌道上、自動車専用道路上、屋根の上などには設定しない。)

風環境試験の様子



試験の流れ

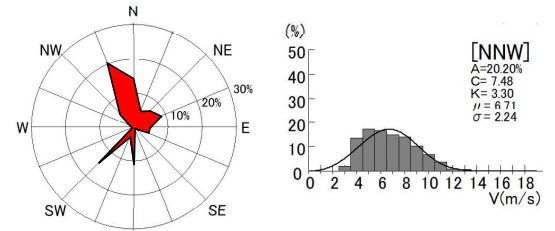
- ・ 評価点を設定
計画建築物の周辺に50~100点。
水平方向に計画建築物の高さの1~2倍程度^{注)}の範囲に設定。
注) 1倍: 計画建築物の幅が狭い場合
2倍: " 広い場合
- ・ センサー移動・計測
風向計、風速計
- ・ 風向の変更
ターンテーブルを回転
22.5° 毎の16風向

村上博士らによる評価方法
(強風出現頻度に基づく風環境評価)

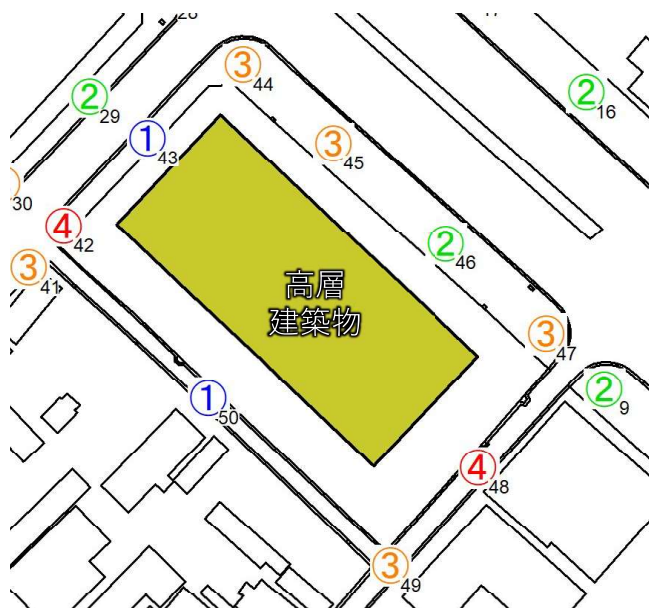
ランク	強風による影響の程度	対応する空間用途の例	評価する強風のレベルと許容される超過頻度		
			日最大瞬間風速(m/s)		
			10	15	20
			日最大平均風速(m/s)		
			10/G.F.	15/G.F.	20/G.F.
1	最も影響を受けやすい用途の場所	住宅地の商店街 野外レストラン	10% (37日)	0.9% (3日)	0.08% (0.3日)
2	影響を受けやすい用途の場所	住宅地 公園	22% (80日)	3.6% (13日)	0.6% (2日)
3	比較的影響を受けにくい用途の場所	事務所街	35% (128日)	7% (26日)	1.5% (5日)



気象観測所

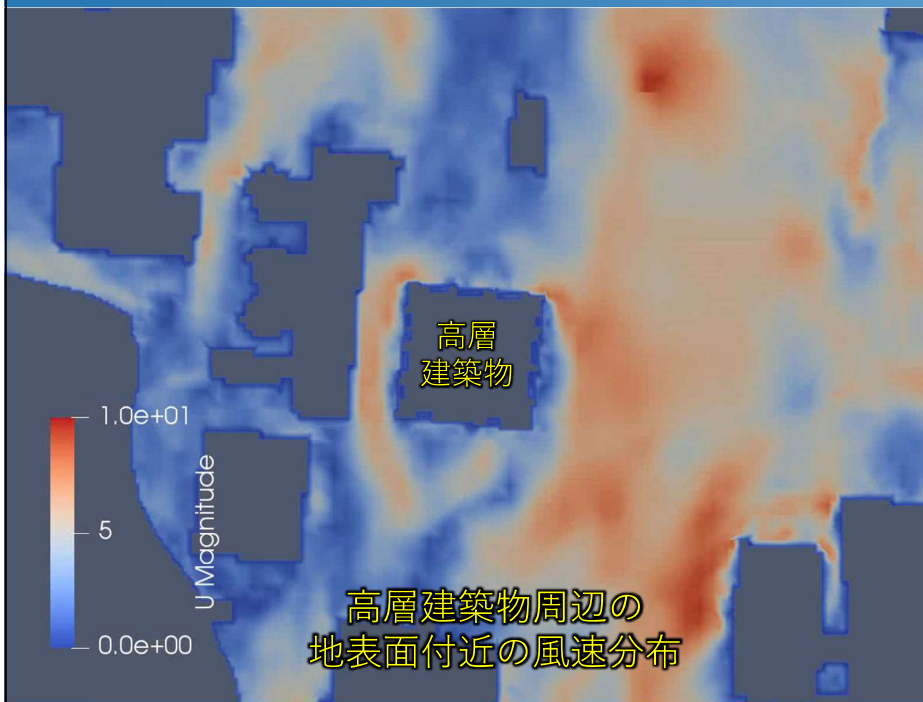


気象データの例

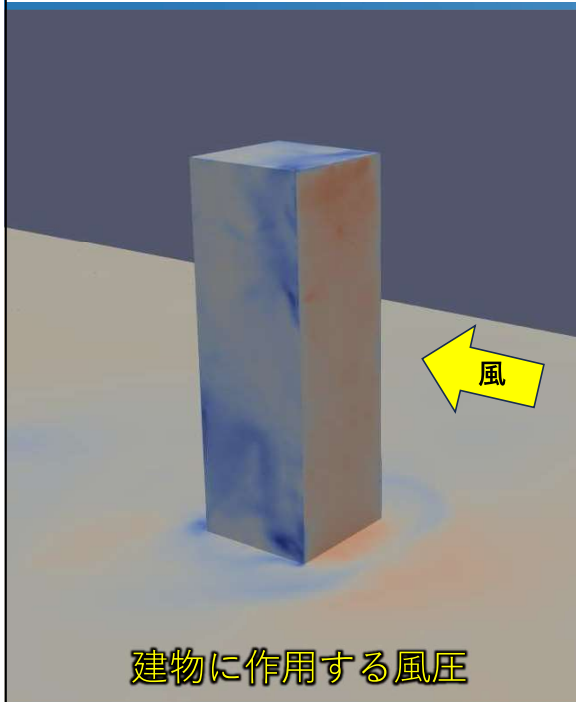


各評価点における風環境評価ランク

- ・ 地図上の各評価点位置に評価ランクを表示したもの。

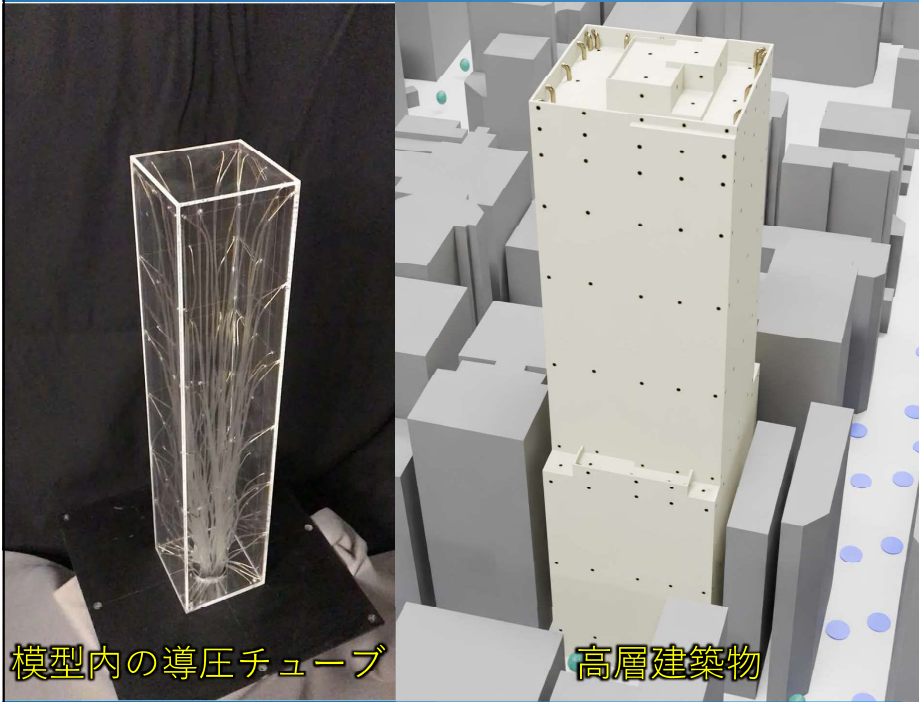


- 物理的な試験は行わない。
- コンピューターで流体の運動方程式を近似的に解く。
- 空間全体の物理量が求まる。評価点位置の風速値を取り出し、風環境評価に用いる。
- ランク評価は実験の場合と同じ手順。



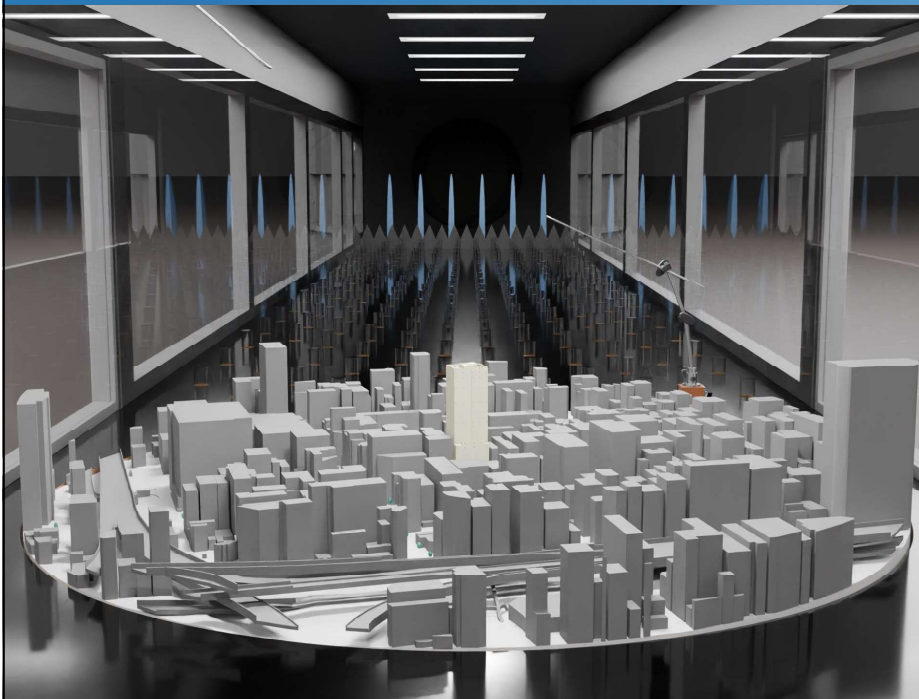
目的

- 外装材設計用風荷重
- 構造骨組み計用風荷重
- 風揺れに対する居住性評価



特徴

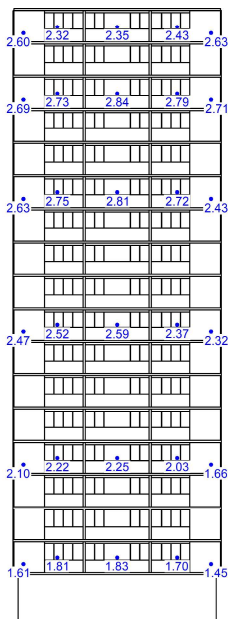
- ・ 導圧チューブを内蔵。
(200~350本程度)
- ・ 細部形状まで再現し、細部の風圧測定点も設定。
(バルコニー手摺、パラペットの表裏など)



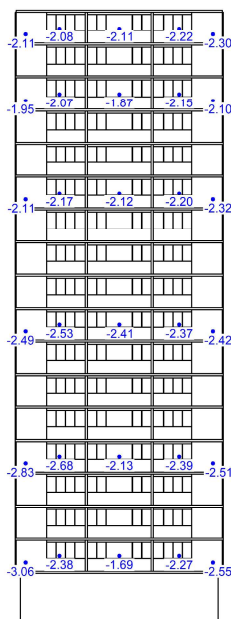
試験の流れ

- ・ 風圧をセンサーで計測
(382点まで同時計測可)
- ・ 基準速度圧をピトー管を使用して計測
- ・ 風向の変更
ターンテーブルを回転
5° 毎の72風向

風圧試験結果の例（外装材設計用）



正最大風荷重



負最大風荷重

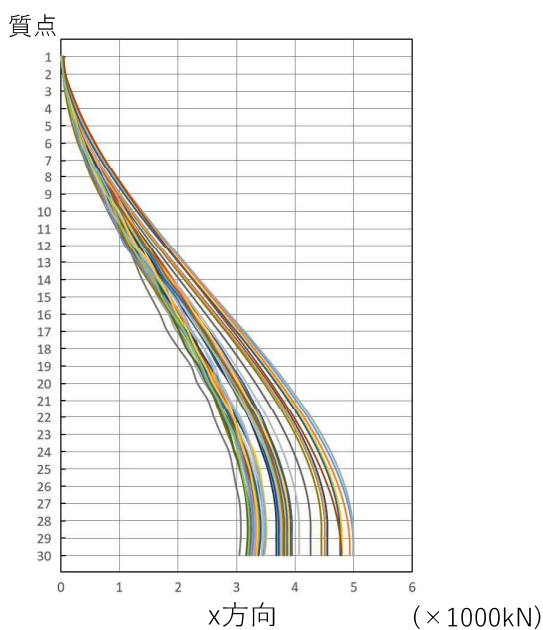
(立面図, 単位: kN/m²)

試験により得られる情報

- ・ピーク風力係数
- ・最大風荷重

注) いずれも、全72風向の正と負の最大値を測定点毎にそれぞれ算出します。

風圧試験結果の例（構造骨組み設計用）

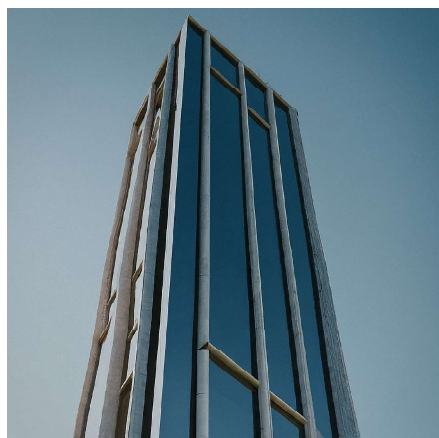


層せん断力の鉛直分布

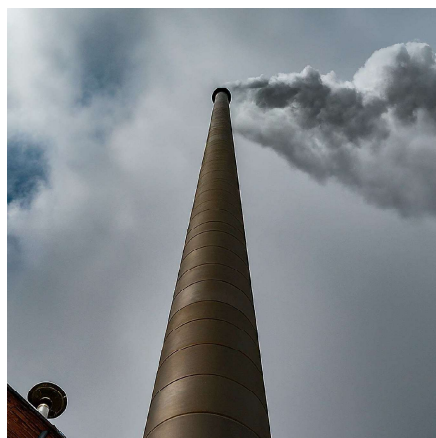
試験により得られる情報

- ・層せん断力 (x方向, y方向)
- ・転倒モーメント (x方向, y方向)
- ・層振りモーメント
- ・風力係数 (建物全体)
- ・応答変位 (x方向, y方向, 捩れ)
- ・一般化変動風力の無次元パワースペクトル密度
- ・層風力の時系列データ

注) 動的応答はスペクトルモーダル解析により求めます。



超高層建築物



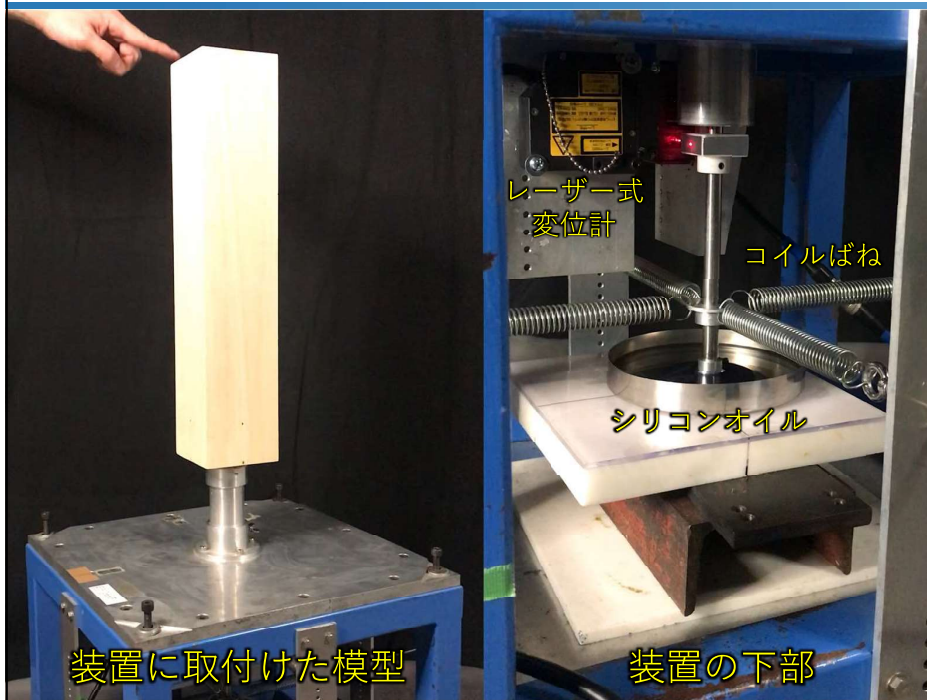
煙突

目的

- ・ 空力安定性の検討。

対象

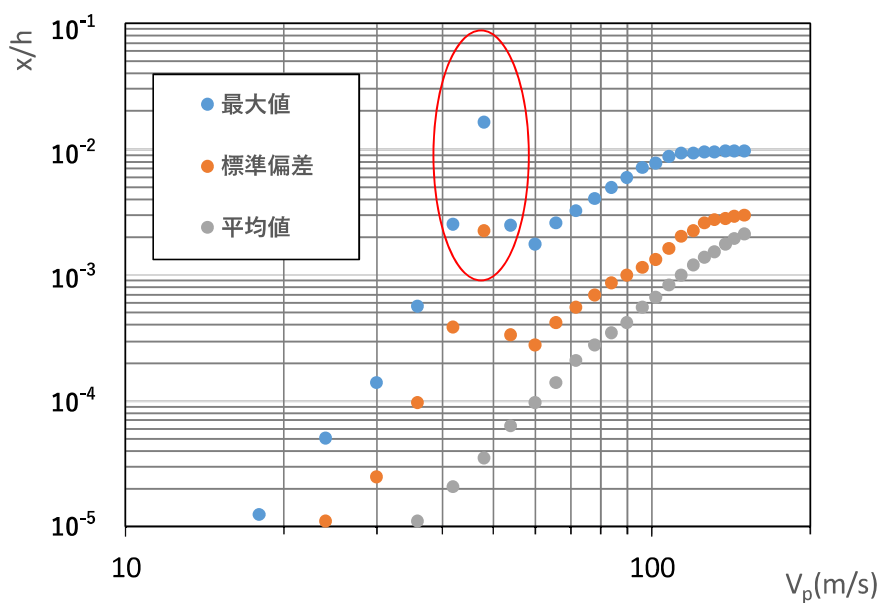
- ・ 空力的に不安定な振動の発生が予想される、下記のような建築物や工作物。
- ・ 質量や減衰が小さい
- ・ 幅と高さのアスペクト比が高い



- ・ 2軸の回転を再現可能。
- ・ 回転角をレーザー式変位計を用いて計測。
- ・ 質量, ばね定数, 減衰定数を調整して実物と振動特性を合わせる。
- ・ 模型には軽量化のためバルサ木材を用いることが多い。



- 模型の固有振動数とカルマン渦の周波数が一致するとき、模型が激しく振動することがある。

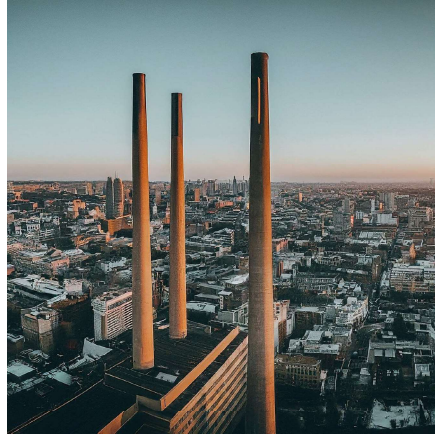


風速と応答変位の関係

- 変位量の標準偏差と最大値がある風速域で急激に大きくなることがある。
- カルマン渦による変動風力は風直交方向に対して生じ易い。



送電用鉄塔



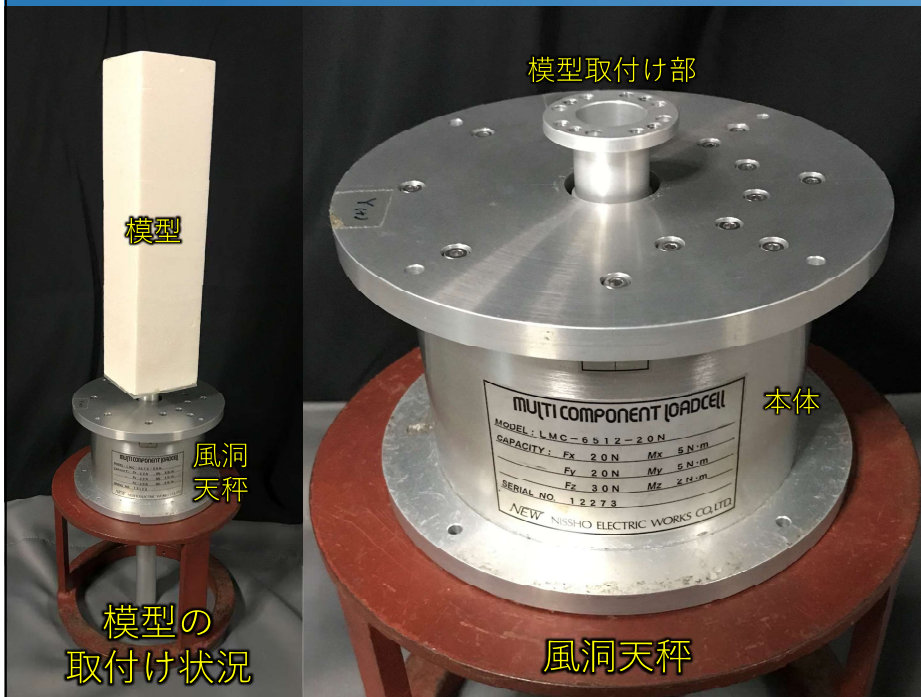
煙突

目的

- ・対象物全体に作用する風力の情報を得る。

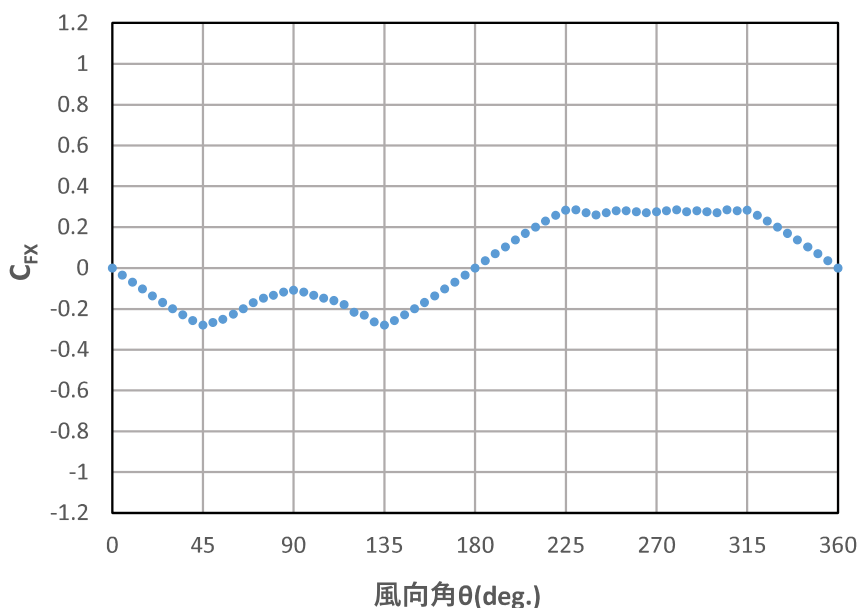
風力試験を選択するケース

- ・風圧試験が困難な対象物。
(チューブの内蔵スペースが無い)
- ・表面各部の風圧分布といった詳細情報が不要。

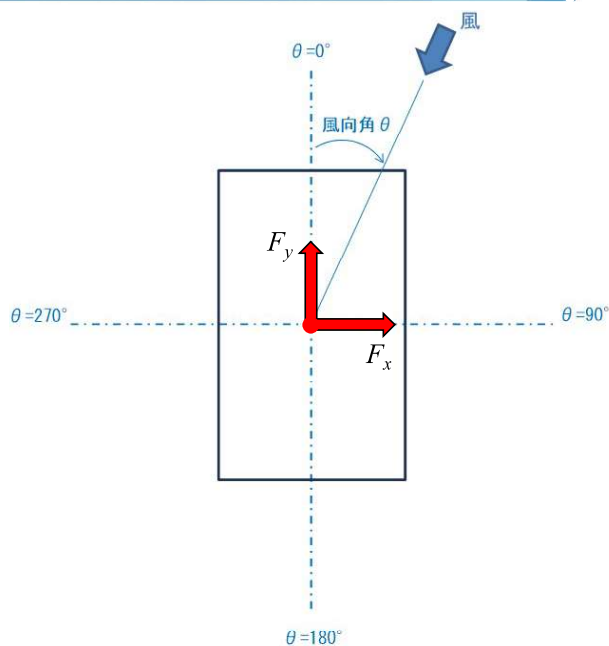


風洞天秤

- ・6軸の力を計測できる装置
(Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz)



風向毎の風力係数



風向角の定義



光造形式 3Dプリンター
(Formlabs社製 左:Form3+, 右:Form3L)



熱溶解式 3Dプリンター
(FLASHFORGE社製Guider3)

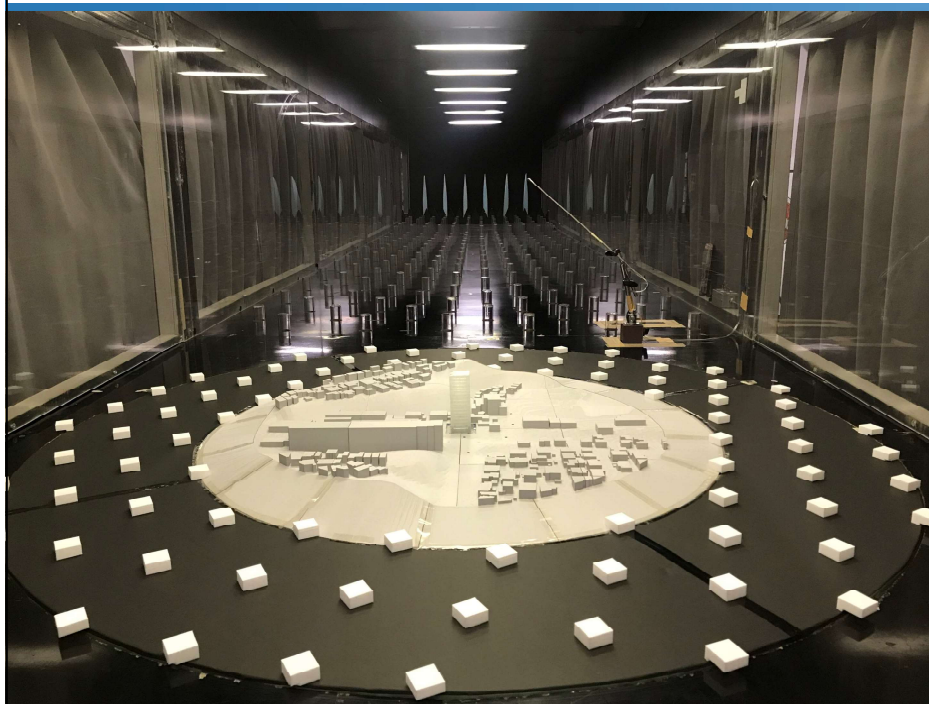
目的

- ・ 製作能力 (量・速度) の向上
現状: 1案件/月 (計画建築物+周辺)
- ・ 製作コストの低減
- ・ 後継者問題の解決

導入設備(2023~2024年)

- ・ 光造形式3Dプリンター × 2台
- ・ 熱溶解式3Dプリンター × 3台

3Dプリンターによる模型製作例

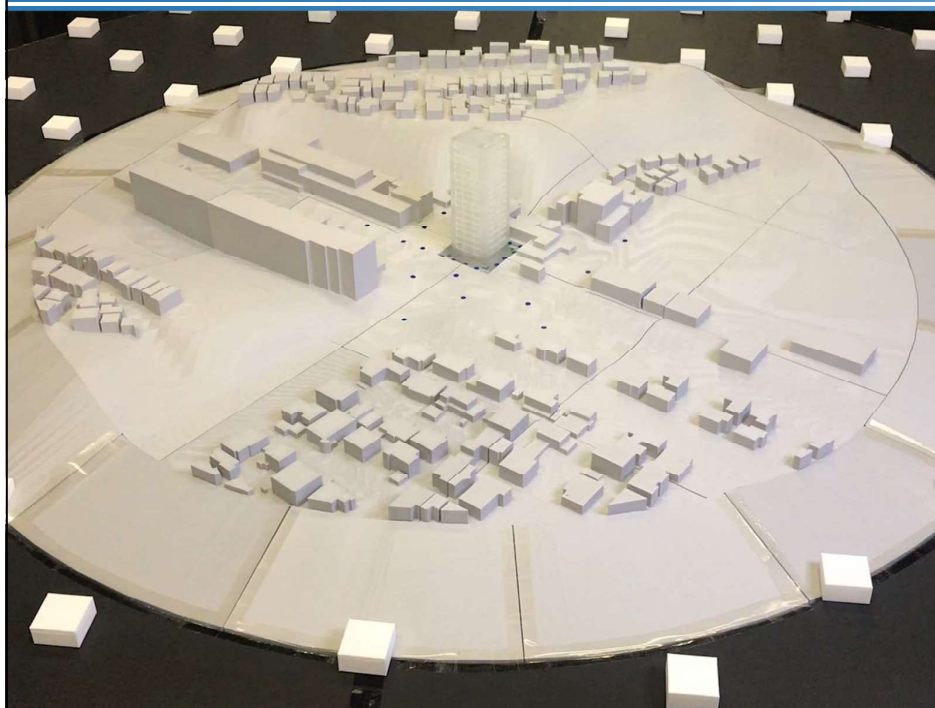


左の模型を試験室で製作

模型の概要

- ・ 計画建築物
高さ60m（18階建て）の共同住宅
幅・奥行はいずれも20m
風圧測定孔120点
バルコニー形状も再現
- ・ 市街地再現範囲の半径200m
中心はGBRC吹田本部の駐車場
地面の高低差30m程度
- ・ 縮尺1/500

3Dプリンターによる周辺模型の製作



製作方法

- ・ 熱溶解式3Dプリンター使用
本体や材料費が比較的安い
- ・ 分割して作成
再現範囲を16分割
1つのサイズは20cm×20cm
- ・ 造形の所要時間
3台の3Dプリンターを使用
再現範囲 : 約5日
テーパー部分 : 約4日



全景



底面

製作方法

- ・ 光造形式3Dプリンター使用
本体や材料費は比較的高い
繊細な造形物が製作可能
- ・ 導圧チューブを一体造形
模型の底面から圧力計までは
従来のチューブを使用して接続
- ・ 造形の所要時間
約12時間



模型の水平断面

建物部分の仕様

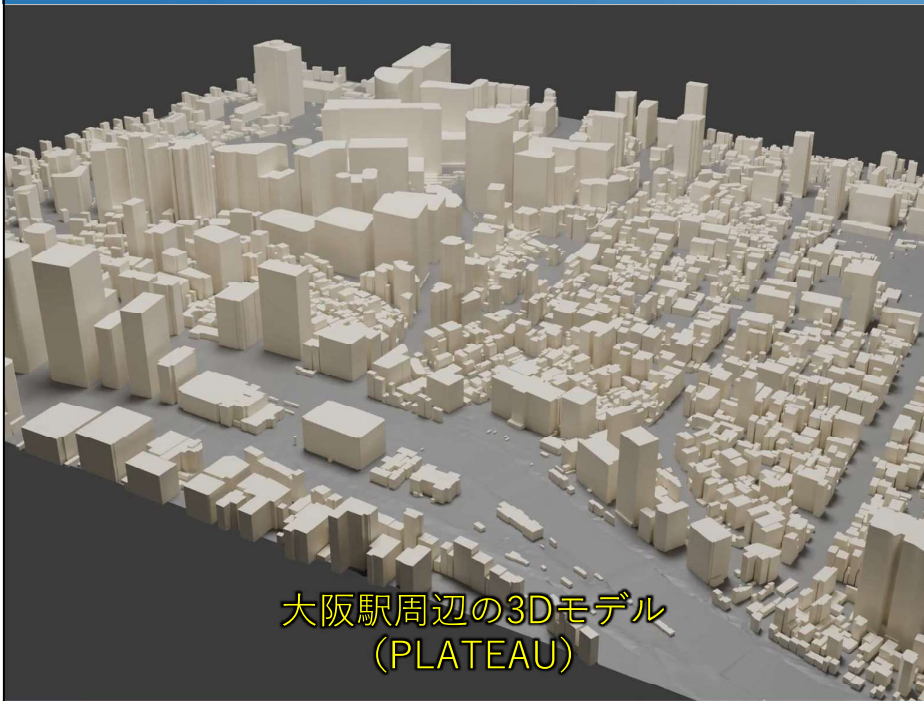
- ・ 外殻の厚さ0.5mm
- ・ 大きい面はリブで補強

導圧チューブの仕様

- ・ 内径2.0mm
- ・ 肉厚0.5mm
- ・ 狭い箇所では、チューブの肉^{注)}同士をオーバーラップさせて配置

注) 肉：外径と内径の間の部分。

周辺市街地の3Dモデル（CADデータ）の入手方法



大阪駅周辺の3Dモデル
(PLATEAU)

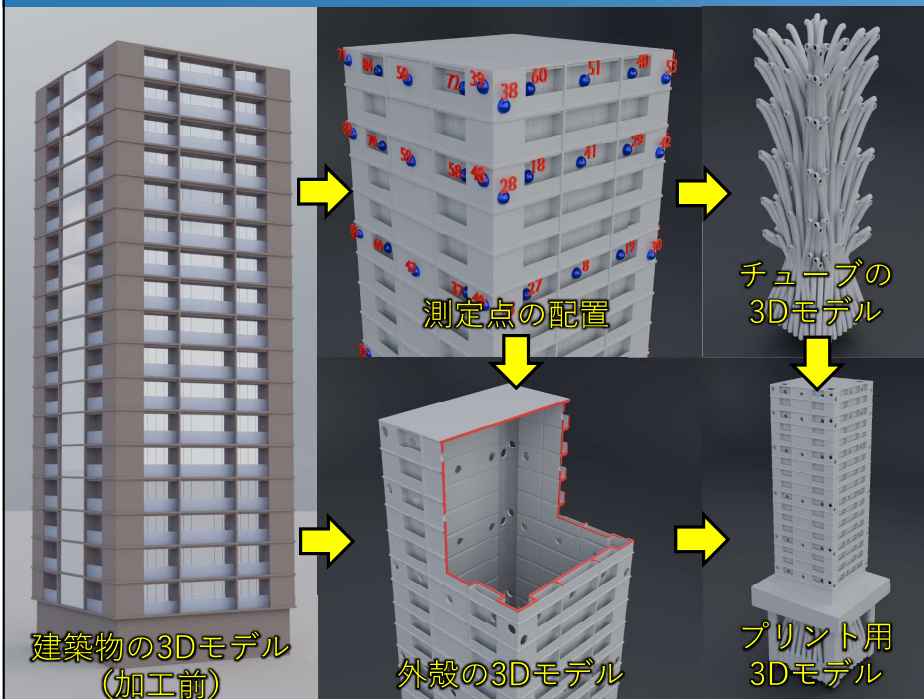
1) PLATEAU[プラトー]

- ・国土交通省が主導するプロジェクト。
- ・Web上に都市の3Dモデルが公開されており、商用利用を含め無料で利用できる。
- ・新しい建物は反映されていないこともある。
- ・建物形状が簡略化されている場合がある。
- ・データの無い地域もある。

2) 航空測量法

- ・専門業者へ外注して作成。
- ・飛行機を飛ばした時点での精度の良い3Dモデルが得られる。

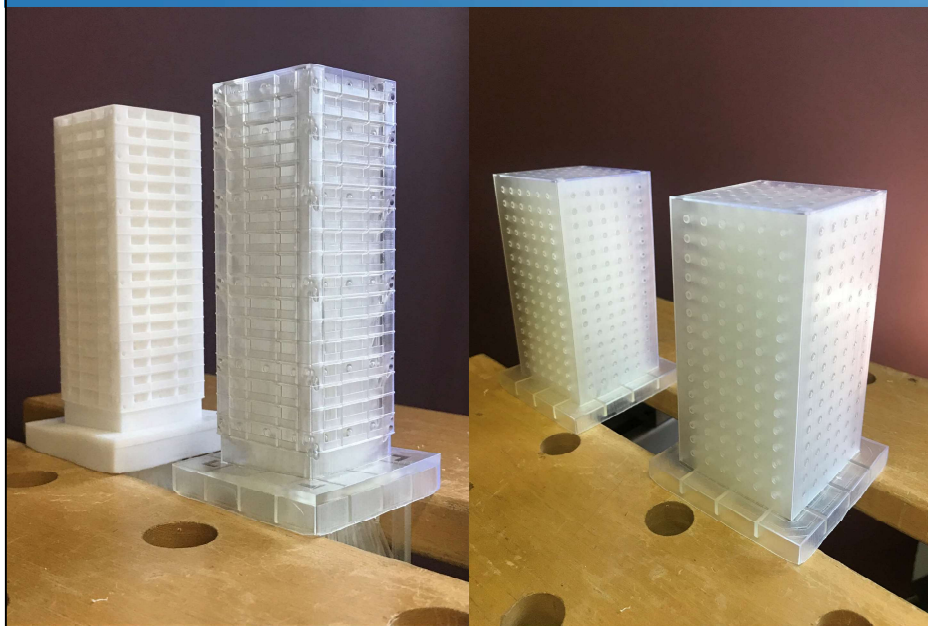
計画建築物の3Dモデル（CADデータ）



データの加工手順

- ・建築物3Dモデルを入手
依頼者様ご提供、外観パース用など
- ・測定点の配置
- ・外殻の3Dモデルに加工
- ・チューブの3Dモデル作成
- ・外殻の3Dモデルを加工
補強材の配置
チューブ通過箇所に穴あけ
- ・外殻とチューブの3Dモデルを結合

3Dプリンターによる模型製作の長所（1）



18階建て共同住宅の模型

角柱の模型
(導圧孔396箇所)

複数の製作が容易

【長所が生かせる場面】

- ・測定点を増やしたいが、チューブが納まらない。
- ・設計案が複数ある。
- ・試験後に設計変更となった。

3Dプリンターによる模型製作の長所（2）



3Dモデルは電子データ
なので永年保管が可能

【長所が生かせる場面】

- ・試験後、長い年月が経ってから再実験したい。
- ・模型の細部形状を後日再確認したいが、模型は廃棄済^{注)}

注) 試験室には模型の保管スペースが少ししかありませんので、模型は試験終了後に順次廃棄しています。

お問い合わせ

**試験研究センター
環境部 耐風試験室**

TEL : 06-6834-0919

Mail : info.taifu@gbrc.or.jp



一般財団法人

日本建築総合試験所

Copyright © 2024 General Building Research Corporation of Japan. All Rights Reserved.