

環境工学実験棟の改修

渡辺 充敏 後藤 暁
染川 大輔 片岡 浩人

Renewal of Environmental Engineering Laboratory

Mitsutoshi Watanabe Satoru Goto
Daisuke Somekawa Hiroto Kataoka

Abstract

The Environmental Engineering Laboratory is an experimental facility for developing technologies that respond to people and the environment. More than 25 years have passed since its completion in 1992, and the building has become dilapidated. Moreover, the existing facilities are not sufficient to work on the problems relating to large-scale environmental changes and natural disasters on a global scale. Therefore, toward the realization of a safe and secure society and achievement of sustainable development goals (SDGs), rooms were built for indoor/outdoor environments related to wind, sound, light, and heat as well as smoke and living things. To satisfy the needs of the new age, we updated the “multi-purpose wind tunnel,” “multi-fan dynamic flow wind tunnel,” and “acoustic testing facility.” This report presents an overview of the renewal work and describes the specific updates made to the various wind tunnel and acoustic testing facilities.

概要

環境工学実験棟は、人と環境に対応した技術開発を行うための実験施設である。1992年の竣工以来25年以上が経過し、建屋の老朽化だけではなく、地球規模での大きな環境変化や自然災害への対応といった研究に取り組むためには、既存の機器だけでは十分な実験が行えないという課題が生じていた。そこで、安全・安心な社会の実現と持続可能な開発目標 (SDGs) の達成に向けて、風・音・光や熱の室内外の環境関連、また煙や生物などに関連した実験を行う諸室を整備すると共に、新しい時代のニーズに応えるため、「多目的風洞実験装置」、「マルチファン型非定常気流風洞装置」や「音響実験施設」などの施設を更新した。本報告では、環境工学実験棟とリニューアル工事の概要、および各種の風洞実験装置と音響実験施設の具体的な更新内容について示す。合わせて、竜巻関連の実験などの更新によってはじめて実現された実験の概要について、また実験室を組み合わせてさまざまな測定に対応できる音響実験施設の特徴について紹介する。

1. はじめに

環境工学実験棟は、人とそれをとりまく環境に対応した技術開発を行うための施設で、風・音・光・熱・煙・生物などに関連する実験を行ってきた。1992年の竣工以来25年以上が経過し、建屋の老朽化だけでなく、この間の地球規模での大きな環境変化や、猛威を振るう予測不能な自然災害への対応といった新しい研究に取り組むためには、既存の機器だけでは十分な実験が行えないという課題が生じていた。そこで、今般、安全・安心な社会の実現と持続可能な開発目標 (SDGs) の達成に向けて、建屋のリニューアル工事に加え、新しい時代のニーズに応えるため、多様な気流を発生させる「多目的風洞実験装置」や、快適な音環境を実現するためにさまざまな実験を行う「音響実験施設」を更新した。

本報告では、はじめに環境工学実験棟とリニューアル工事の概要について述べた後、風洞実験装置と音響実験施設の更新の具体的な内容、ならびに更新によって実現



Photo 1 環境工学実験棟の外観
Environmental Engineering Laboratory

された新しい実験の概要について報告する。

2. 全体概要

Photo 1に環境工学実験棟の建物外観を、Table 1に概要をそれぞれ示す。

2.1 経緯

1992年竣工当初は、同建物内には執務室と実験スペースが共存し、「環境研究センター」という呼称であった。しかし2010年9月に新本館テクノステーションが竣工し、2、3階で執務していた研究員は全員新本館に移動した。そこで執務室のうち2階をスタッフ控え室、3階を各種実験準備室とサーバー室、ならびに会議室を植物育成施設へと用途変更した。あわせて建物名称を「環境工学実験棟」に変更し、実験棟として供用されることとなった。

その後竣工から25年を経て、各実験施設の更新が求められる時期となった。そこで単に機器を更新するだけでなく、新しい技術的課題への対応のための機能追加、世界標準に合わせた施設の変更、実験の作業の合理化などを目指して、建屋とともにリニューアルすることとした。

2.2 リニューアル工事概要

多目的風洞実験装置と音響実験施設のリニューアル工事概要については次章以降で述べる。ここでは、それ以外の工事概要について述べる。

2.2.1 屋上ビオテラス 屋上の一部には、Photo 2に示すビオテラスを設け、薄層土壌下での屋上緑化やビオトープの維持管理、在来種を活用した緑化について検討を行っている。また、屋上は各種の曝露試験や環境計測にも用いられている。

2.2.2 室内環境実験室とサーバー室 3階は執務室から実験室に変更し室内環境実験室とした。同実験室内には光環境実験のための暗室を設け、建材からの光の反射指向特性の計測を実施中である。また、会議室はサーバー室とし、スーパーコンピュータを設置して数値シミュレーションによる各種解析を行っている。

2.2.3 技術展示室 Photo 3に示すように、2階執務室は技術展示室とし、研究所で開発した技術を展示している。なお、同展示室の床と外壁の一部、そして玄関ロビーの壁面装飾にはレジーナストーン™を用いている。外壁に人工大理石を用いるのは、我が国初の試みである。

2.2.4 環境実験プラザと緑化実験室 Photo 4に示す1階環境実験プラザでは天井クレーンを追加し、大空間を利用した大規模な実験に対応可能とした。現在可動式の実験室をプラザ内に設置し、マルチミスト®による除菌システムやアスペルバスター®などによる微生物や昆虫の防御を目的とした実験を行っている。また1階のロビーの一部を緑化実験室に変更し、在来種を活用した緑化や希少種の保存に向けた取組みを行っている。

Table 1 環境工学実験棟建物概要
Building Outline of Environmental Engineering Laboratory

建築面積	1,462 m ²
延べ面積	4,289 m ²
規模	地上4階建 地下2階
構造	SRC造
竣工	1992年10月
工事期間	2017年8月～2018年9月 13ヶ月
用途(竣工時)	4階 エレベータホールと屋上 3階 執務室と会議室 2階 執務室 1階 ロビー、音響実験施設、環境実験プラザ 地下 風洞実験施設



Photo 2 屋上ビオテラス
Roof Top Bio-terrace



Photo 3 技術展示室
Technology Library



Photo 4 環境実験プラザ
Environmental Experiment Plaza

3. 風洞実験装置の改修と新設

これまで多目的風洞装置¹⁾を用いた風洞実験をおこない、超高層建物を対象とした風の課題についての研究を進めてきた。また実務では大型プロジェクトにおける建物周辺の風環境や外装材・構造骨組を設計するための風荷重、建物の風揺れの評価、ルーバーの風騒音の確認などを主に実施してきた。今回の改修にあたり、老朽化した電動機の更新に加え、風騒音実験のために静音化を実施した。また、近年建物の強風被害の原因として課題となっている竜巻等の突風現象による風外力の構造を解明するため、マルチファン型非定常気流風洞を新設した。Fig. 1に風洞装置全体の外観パースを、Photo 5に風洞装置模型を示す。

3.1 多目的風洞実験装置

多目的風洞装置は、風路の全長が120 mの単回路式密閉型風洞である。Table 2に主要な諸元を示す。改修で竣工以来使用してきた電動機を更新し、メンテナンス性を考慮して交流電動機とした。

また、風洞の静音化は、ファンとモーターを吸音材を内張した遮音壁で覆って騒音が外に漏れにくくするとともに、風路内壁面に吸音材を貼り付け、内部を伝わる音への対策をおこなった。Photo 6にファンの防音区画の外観を、Photo 7に風路内の吸音材の設置状況を示す。これらの設置により、風速20 m/sの状況下で、測定部での騒

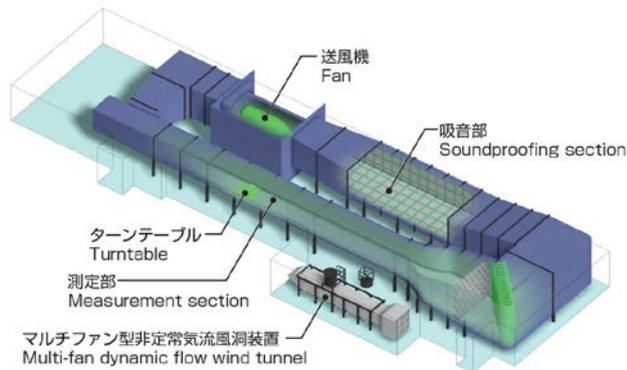


Fig. 1 風洞装置外観(パース)
Appearance of Wind Tunnel (Perspective)



Photo 5 風洞装置(模型)
Appearance of Wind Tunnel (Model)

音レベルは、改修前の80 dBから60 dBまで低減できた。これにより、風洞のモーター等の騒音に埋もれてしまっていた風切り音を確認、精度良く測定できることが期待できる。

3.2 マルチファン型非定常気流風洞装置

マルチファン型非定常気流風洞装置は、独立した3種類

Table 2 性能諸元(多目的風洞装置)
Specifications of Performance (Multipurpose Wind Tunnel)

■風洞性能諸元

形式	単回路回流式密閉型風洞	
測定部断面	幅	3.0 m
	高さ	3.0 m
	長さ	31.5 m
風速	0~40 m/s	

■電動機性能諸元

形式	交流電動機
出力	700 kW
回転数	500 rpm
制御	インバーター制御

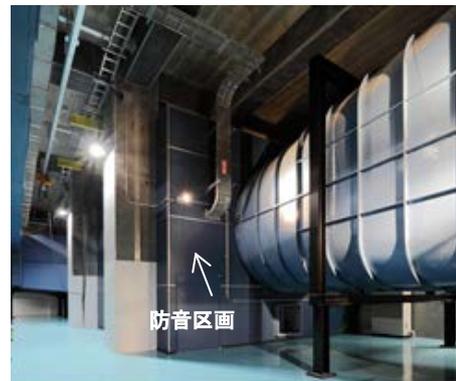


Photo 6 送風機周囲の防音区画の外観
Appearance of Soundproofing Section around Fan



Photo 7 風路内の吸音材の設置状況
Installation Situation of Sound Absorbing Material in Wind Tunnel

の送風装置(複数ファン、ダウンバースト発生装置、竜巻発生装置)を用いて、従来の風洞では実現できない気流を再現して実験を行うための装置である。これらの送風装置を組み合わせて同時に稼働させる世界初の実験装置である。Table 3に主要な諸元を示す。

風路の風上部にとりつけた9×9列の計81個のファンは、回転数や回転方向(正転・逆転)を個別に制御できる。強風による被害は、急激な風速変動によって引き起こされる場合が多いため、そのような気象現象に対応した実験が可能となる。風路断面は1.5×1.5 m、風路長は10 mである。Photo 8 に外観を示す。

Photo 9に示すダウンバースト発生装置は、円筒形の装置を風路上部に取り付け、風路に向かって下降気流を発生させる。これにより、積乱雲の発達の際に生じる下降

気流であるダウンバーストを模擬する。また、同装置をガイドレールに沿って移動させながらマルチファンを稼働することで、風に乗って積乱雲とともに移動するダウンバーストが再現可能である。

Photo 10に竜巻発生装置外観を示す。風路上部に取り付けた装置により竜巻状の気流を発生させる。Photo 11に気流の発生状況を示す。ダウンバースト発生装置と同様に風路上を移動させることが可能で、竜巻の移動を再現できる。

ダウンバーストや竜巻といった突風は、近年その被害が多く報告されるようになってきたが、未だその実態は良く分かっていない。これらの装置を用いて現象を模擬することで、突風荷重の評価や対策の提案に役立てる。

4. 音響実験施設の改修

音響実験施設は、2つの残響室と1つの無響室で構成され、これまでも建築部材の音響透過損失、吸音率等の基本的な音響特性をはじめとして、様々な測定、実験に用いてきた。今回、国内外の規格への対応を図ると共に、固体伝搬音に関する実験も可能とするため、2つの残響室を改修した。更に測定の効率化を図るため、大きな手間と時間を要していた試験体の設置、交換を短時間でできる試験体カセットと自動搬送クレーンによる機構を新設

Table 3 性能諸元
(マルチファン型非定常気流風洞装置)
Specifications of Performance
(Multi-fan dynamic flow wind tunnel)

■マルチファン風洞

形式	エッフェル型風洞 (開放型風洞)	
測定部断面	幅	1.5 m
	高さ	1.5 m
	長さ	10 m
風速	0~10 m/s	
ファン数	81台(9×9列)	

■ダウンバースト発生装置

噴出径	1,008 mm
噴出速度	10 m/s
移動速度	0.1~2 m/s

■竜巻発生装置

吸込径	500 mm
吸込速度	10 m/s
移動速度	0.1~2 m/s



Photo 8 風路外観
Appearance of Wind Tunnel



Photo 9 ダウンバースト発生装置
Downburst Generator



Photo 10 竜巻発生装置
Tornado Generator



Photo 11 竜巻状気流の発生状況
Occurrence Situation of Tornado-like Swirling Flow

した。試験体カセットは6台を備え、3種類の幅(奥行き)のバリエーションの中から試験体に対して最適な試験体カセットを選択し、測定に用いる。Fig. 2に改修後の音響実験施設の全体構成を示す。

なお、残響室の躯体には、意匠的な試みとして、カラーコンクリートを用いている。コンクリートに染料を混入し着色しているため、コンクリートの音響的な特性は、普通コンクリートと同様である。

4.1 残響室

以前の残響室は、当時のJISに基づく平行面がない7面体等の特殊な形状であったが、改修した残響室は、現行のJIS A 1416およびISO 140-3の音響透過損失の測定等にも対応した直方体の形状とした。Table 4に残響室の諸元を、Photo 12に残響室内部の様子を、Photo13に残響室外観および試験体カセットの様子を示す。

第1、第2残響室は、それぞれ防振ゴムで躯体から浮かせており、周囲からの振動や残響室間での振動の伝搬を極力抑えている。近年ニーズが増えている音響透過損失の大きな遮音壁まで測定できるように、防振系の共振周波数を約8 Hzと低く設定し、振動伝搬の影響を極力抑えた。

音響透過損失等の試験体を設置する試験体カセットは、350 mm幅が3台、500 mm幅が2台、800 mm幅が1台の計6台である。複層の遮音材で構成され、幅の大きな遮音壁まで対応できる試験体カセットを用意しており、800 mmまでの幅の異なる6台の試験体カセットを備えた機構は、我が国最大級の規模である。試験体カセットは、自動搬送クレーン(最大積載荷重 9 ton)によって、残響室間の開口に設置する。設置後に、残響室2を油圧シリンダーによって水平移動させ、試験体カセットと残響室を3重に配置したパッキンを介して圧着し、隙間からの伝搬音の影響を防いでいる(Fig. 3)。上述の試験体カセットと自動搬送クレーンを組合せた機構によって、複数の試験体を短時間で交換、測定が可能となり、測定、開発における大きな効率化が図れると考える。

直方体の残響室としたことにより、音響透過損失、吸

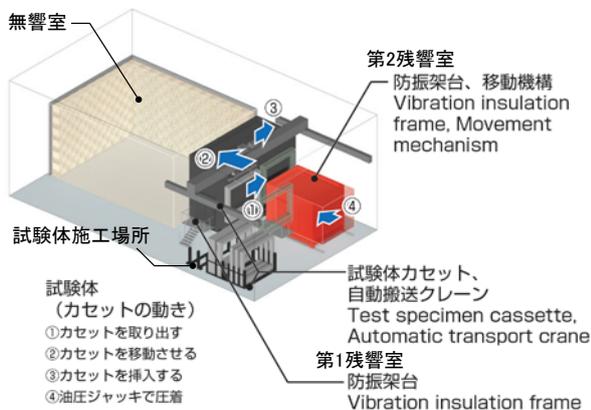


Fig. 2 音響実験施設の全体構成

Overall Composition of Acoustics Testing Facility

音率等に加えて、屋根スラブ等を加振しての固体伝搬音に関する実験もできるようになった。Photo 14に残響室2の屋根スラブを加振している様子を、Fig. 4に加振時の躯体の変位と表面音圧の解析例を示す。固体伝搬音は、躯体構造等によって変化するため、一つの実験室で全てに対応することは困難であるが、直方体としたことで、各部への加振実験が容易となり、理論値との比較、解析結

Table 4 残響室諸元
Specifications of Reverberation Rooms

室名	容積	残響時間
第1残響室	214 m ³	約10秒
第2残響室	64 m ³	約5秒



Photo 12 残響室内部と試験体カセット設置用の開口
Inside of Reverberation Rooms and Opening for Test Specimen Cassette



Photo 13 残響室外観と試験体カセット
Appearance of Reverberation Rooms and Test Specimen Cassette

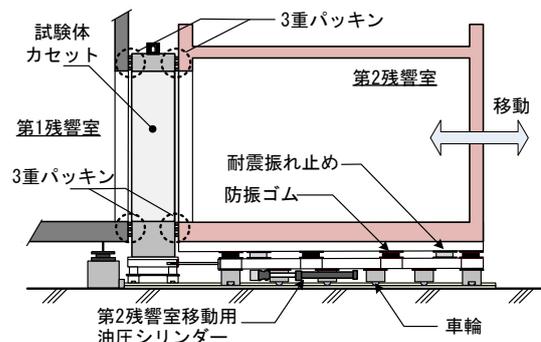


Fig. 3 試験体カセットの圧着機構

Crimping mechanism of Test Specimen Cassette



Photo 14 スラブ加振による測定
Measurement by Slab Excitation

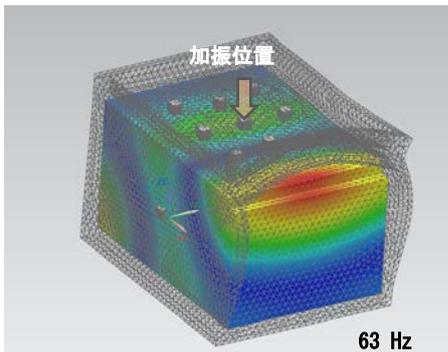


Fig. 4 スラブ加振時の変位と表面音圧の解析結果例
Example of Analysis Results of Body Displacement
and Surface Sound Pressure by Slab Excitation

果の検証も容易となった。改修された残響室を用いた基礎的な検討を通して、数値シミュレーションによる固体伝搬音の予測の高度化、対策技術の開発につなげていく。

4.2 無響室

無響室は、残響室の改修に伴って、残響室間の開口の一部を変更した。Table 5に諸元を示す。

Photo 15に無響室内部の様子を示す。壁、床、天井とも楔状に整形した奥行き約800 mmの吸音材(吸音楔)で覆われた空間である。内法は、W8.2 × D12.6 × H6.0 mであり、現時点においても最大規模の無響室の一つである。

無響室の用途は、音源特性の測定、数値シミュレーションの検証、機器の校正等の多岐にわたる。Photo 16に、ホール壁面の実大部分模型を用いた反射音特性を測定した事例を示す。吸音楔によって、室内壁面等からの反射音がほぼない空間となっているため、このような特定の部分からの音だけを取り出した測定、分析が可能である。

無響室と残響室間にも測定用の開口がある。Photo 17に残響室と無響室間の開口(奥)、残響室間の開口(手前)を示す。残響室と無響室間の開口を用いれば、音響インテンシティ法による音響透過損失の測定等も可能である。なお、無響室と残響室間の開口は、通常、二重扉で閉じられており、その音圧レベル差は、500 Hz帯域で90 dB以上ある。残響室と無響室の同時使用に支障のない遮音性能が確保されている。

Table 5 無響室諸元
Specifications of an Anechoic Room

室名	形式	吸音楔 カットオフ周波数
無響室	完全無響室	90 Hz



Photo 15 無響室内部
Inside of an Anechoic Room



Photo 16 ホール壁面形状の検討
Considering a Suitable Wall Surface Shape for a Hall



Photo 17 残響室および無響室の試験体設置用開口
Reverberation Room and Anechoic Room Opening
for Test Specimen

5. おわりに

新しい時代のニーズに対応するための施設の改修について示した。新しい施設を用いて研究開発を進めると共に、環境に係わる複雑な諸課題に各分野が連携して取り組む場として、環境工学実験棟を活かして行きたい。

参考文献

- 1) 伊藤雅保, 他: 多目的大型風洞について, 大林組技術研究所報, No.51, pp.139-146, 1995