

無人航空機(ドローン)による構造物への補修材等吹付けの適用可能性の検証

西武建設株式会社 正会員 ○二村憲太郎, 井上靖雄
芝浦工業大学 正会員 伊代田岳史

1. 緒言

橋梁などの高所におけるインフラの維持管理業務では、高所作業車や仮設足場を使用して点検から補修、補強工事を人力で実施している。近年、点検業務を軽減する目的で汎用性の高い無人航空機(ドローン)の活用が期待されている。今回ドローンによる補修材等の吹付けの適用可能性を検証する。

2. 実験

2.1 実験機の仕様

実験機は機体と電源、ポンプユニットおよび送信機から構成される。機体の外観を写真1に示す。実験はトンネルとし、横向き(壁方向)・上向き(天井方向)とする。機体の選定は吹付け材が吐出するノズル部分とローターの離隔を確保する目的で機体下方にローターを装備した機体を採用した。結果、ノズルアーム最大仰角時に離隔600mmを確保した。また、構造物への接触対策としてガードフレームを装備した。機体の搭載可能重量は4kgである。電源は充電式リチウム電池で、350Wh,22.2vを2台並列し、電源を地上に設置する有線給電方式を採用した。給電ケーブルの延長は15mとした。飛行可能時間は最大積載時で約30分である。ポンプユニットの構成を図1に示す。ポンプからタンクに入れた吹付け材を圧送しノズルアームを経由してノズルから噴射する。ポンプ圧送能力は毎分1.6リットルの噴射量でポンプ重量は約1kgの軽量タイプを採用した。ポンプは機体後方に配置し、配置位置を調整してノズルおよびノズルアームとバランスを取った。タンク部を写真2に示す。タンクは吹付けの進捗により重量が変化するため、機体中央の重心位置に配置した。タンクは最大2リットル積載可能とした。タンクのエアー抜きには、飛行時の揺れによる逆流を防止するため上向きの配管を取付けた。ノズルは1~4個とし、それぞれミスト形状から水流形状までノズルを回すことで調整できる構造とした。またノズルの向きは上下左右方向に可動できるようにし、ノズルアームは角度を水平0度から40度まで調整できる構造とした。送信機を写真3に示す。送信機には吹付け材の噴射を調整するスイッチを装備した。スイッチは入り切りおよび2分の1出力の3段階とした。さらに無段階出力つまみで噴射量を調整できるようにした。飛行時にローターの回転によって生じた気流が吹付け材を機体に向かわせ機体に吹付け材が掛かり(以下リバウンド)故障が懸念されたため、機体中心付近の各種電子機器をビニールで防護した。なお、非GPS環境下での飛行となるため、AltHold(高度自動維持)モードで飛行させ、誤作動を防止するため機体遺失防止等の各種フェールセーフ機能は解除した。

2.2 吹付け材の選定

実験にはケイ酸塩系含浸材(以下含浸材)を補修材等と見立て、粘度の異なる2種類を使用し、それぞれメーカーで定められた塗布量以上を満たすように吹付けた。表1に実験に使用した含浸材の概略を示す。なお粘度はメーカーからのヒアリングによる。

キーワード ドローン、省力化、補修材、ケイ酸塩系含浸材、予防保全

連絡先 〒359-8550 埼玉県所沢市くすのき台 1-11-2

西武建設株式会社 土木事業部 エンジニアリング部 Tel:04-2926-3421 E-mail:k-nimura@seibu-const.co.jp



写真1. 実験機外観

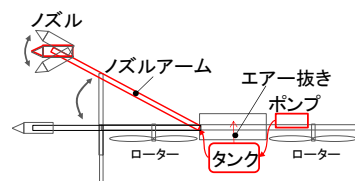


図1. ポンプユニット構成



写真2. タンク部外観



写真3. 送信機外観

表1. 使用吹付け材概略

含浸材	比重	塗布量 (l/m^2)	粘度 (cP)
A	1.2	0.24	6~8
B	1.05	0.3*2回塗り	1~2

A,Bともに塗布後無色

2.3 実験体制

実験は2015年12月21日から23日までの3日間実施した。実験場所のトンネルはNATM構造で覆工コンクリートを利用した。トンネルはアーチ部センターで高さ約7m、幅員は約15mであった。トンネルの側壁を壁方向、センター付近を天井方向と見立てた。トンネル坑内は風速0～2mであった。実験参加者は、ドローン操縦士1名、計測員兼撮影者1名、安全管理者1名で実施した。なお、操縦士の累積飛行経験時間は約15時間であった。

2.4 吹付け前準備

機体へ吹付け材が掛かることを防止するため機体をアイドリング状態にして、含浸材AおよびBを使用し、最適な噴射形状にノズルを調整した。これは機体への吹付け材のリバウンドを起こさず、なおかつ吹付け量に対して吹付け面積を最大にするためである。

2.5 壁方向への吹付け実験

壁方向への吹付け状況を写真4に示す。壁方向への吹付けにおいて含浸材Aを使用しサイクルタイムを計測した。1回の吹付け面積を 3m^2 (高さ1m×幅3m)とし、3サイクル計測した。離陸から吹付け開始、吹付け状態、吹付け終了から着陸までを1サイクルとした。吹付け状態とは吹付けに要した時間を示す。吹付けは4ノズルかつ最大圧力に設定し、機体を左から右に下方へ移動しながら往復した。これを繰り返し吹付けムラがあった場合は再度その地点に移動し吹き付けた。表2に結果を示す。離着陸に要する時間は5秒前後とバラツキが少ないが、吹付け状態は最短47秒から最遅62秒まで14秒の差が生じた。これは、操縦者の技量に起因すると考えられる。具体的には、機体の揺動に吹付けムラが生じ、ムラの修正のための機体の移動に時間を要したためである。

2.6 天井方向への吹付け実験

天井方向の吹付け状況を写真5に示す。天井方向においてはリバウンド量が多くなる傾向が強まった。これは機体上方が遮断されローターによる気流が側方から流れ込むためと考えられる、そのためノズルの噴射を水流形状に近づけた。

3. 調査結果及び考察

3.1 壁方向への吹付け量と設計吹付け量の比較および施工性

壁方向への単位面積当たりの吹付け時間および吹付け量を表3に示す。吹付け量が設計吹付け量よりも約2～3倍となった。含浸材Bは2回塗りであるため、さらに吹付け量が増すことが考えられる。これはノズル形状がリバウンドを防ぐため水流形状に近くムラが生じやすいため、再吹付けにより吹付け量が増加した結果である。操作性については、吹付け開始の瞬間に機体の揺れが若干生じた。

また、吹付け時の噴射が推進力となり機体が後方へ移動すると予想したが、いずれも問題無かった。給電ケーブルが機体の移動とともに引きずられることにより機体のバランスが崩れ、ふらつきが生じるケースがあった。

3.2 天井方向への吹付けの適用性

天井方向への吹付けは、水流形状に近づくため均一な面状に吹付けることが困難であった。面的に吹き付けるには機体とノズルの離隔をさらに離すなどのさらなる工夫が必要である。

4. 結語

吹付け作業前に材料に応じた最適な吹付け量の設定が必要である。壁方向への吹付けは、機体操縦の技量に依存するため自律航行(オートパイロット)機能の付与の検討を要する。天井方向への吹付けは、本実験機ではピンポイントもしくはひび割れ等直線的な部分への吹付けに適用が限定される。なお、今後の実験として含浸材のみならずさまざまな材料のデータを収集し、予防保全の省力化につながるシステムの構築に寄与する所存である。

表2. サイクルタイム

実験回数		1	2	3	平均
時間 (秒)	離陸～吹付け開始(GL+2m)	6	6	4	5.3
	吹付け状態	62	47	56	55.0
	吹付け終了(GL+1m)～着陸	5	4	5	4.7
	合計	73	57	65	65.0

※地上でのアイドリング時間は除外

表3. 1㎡の吹付けに要する
時間と量

	時間(秒)	吹付け量(ℓ)
壁方向	18.3	0.59

※機体のノズル数は4



写真4. 壁方向吹付け状況



写真5. 天井方向吹付け状況