

吹付法枠工法における施工時の支持重量軽減策の提案とその効果に関する研究

中央大学 学生会員 ○保坂 悠人
中央大学 フェロー会員 山田 正

1. はじめに

近年、がけ地や切土法面の防災対策工法として、多くの法面で吹付法枠工法が取り入れられている。吹付法枠工法とは、金網製の型枠を斜面に据え付け、その内側に鉄筋を配筋し、そこにモルタルを吹付機によって、吹付けて法枠を造成する工法である。この工法のメリットは凹凸の多い斜面においても、地山に密着させて施工することができる点である。しかし、デメリットとしては現状、モルタルで充填された吹付機を人が支えながら施工する工法であるため、支える人に大きな負担がかかることになる。

そこで本研究では、モルタルで充填された吹付機の内部に、Y字管投入機により圧縮した空気を混ぜることによって、支える人にかかる重量がどれほど軽減されるのか、理論式を提案した上で求めることを目的とする。

2. 吹付法枠工法時の概要

図-1 は、Y字管投入機により圧縮した空気を混ぜる場合の吹付法枠工法時に使用する吹付機の概要図である。先端から $L[m]$ のところでY字管投入機により圧縮した空気を混ぜている。図-2 は、斜面における吹付法枠工法時の概要図である。図中で示されている吹付機は断面2-3間におけるものであり、また、 Z_2 とは断面1-2間における鉛直方向の長さである。

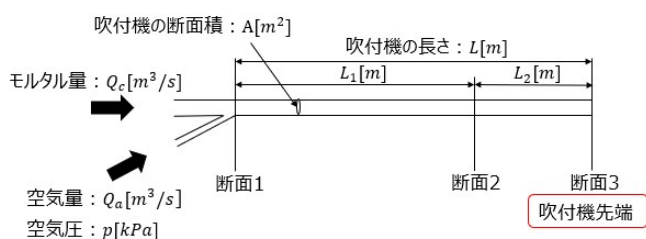


図-1 吹付機の概要（空気を混ぜる場合）

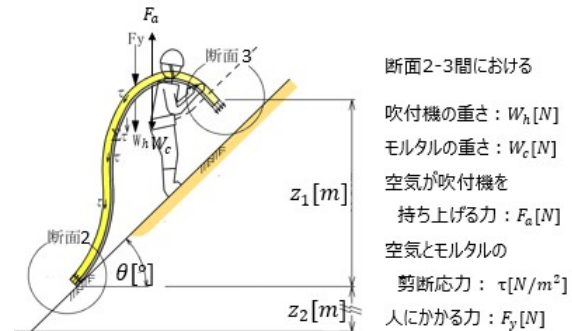


図-2 吹付法枠工法時の概要

3. 人にかかる重量を算出する理論式の提案

(1) モルタルで充填されている場合

モルタルで充填されている場合、支える人にかかる重量 F_y は断面2-3間における吹付機の重量 W_h とモルタルの重量 W_c の和となるため、以下の式で表される。

$$F_y = W_h + W_c \quad (1)$$

ここで、断面1-2間における吹付機とモルタルの重量は地面からの垂直抗力と地面と吹付機における摩擦により釣り合うものと考えているため、断面1-2間の重量は支える人に影響を及ぼさない。

(2) 圧縮した空気を混ぜる場合

圧縮した空気を混ぜる場合、支える人にかかる重量は断面2-3間における吹付機の重量 W_h とモルタルの重量 W_c の和に加えて、圧縮した空気が吹付機を持ち上げる力 F_a が加わるため、以下の式で表される。

$$F_y = W_h + W_c - F_a \quad (2)$$

ここで、圧縮した空気が吹付機を持ち上げる力 F_a は、断面2-3間の吹付機の曲部に働く遠心力であると考え、以下に示す運動量方程式（断面2-3間における運動量 flux の差=外力）より導出する。

$$\begin{aligned}
 & -\rho_{3a}A_{3a}v_{3a}^2 \cos \theta - \rho_{2a}A_{2a}v_{2a}^2 \sin \theta \\
 & = p_{2a}A_{2a} \sin \theta + p_{3a}A_{3a} \cos \theta - W_a - F_f - F_a \quad (3)
 \end{aligned}$$

ここで、 ρ_{2a} ：断面2における空気の密度、 ρ_{3a} ：断面3における空気の密度、 A_{2a} ：断面2における空気の支配断面積、 A_{3a} ：断面3における空気の支配断面積、 v_{2a} ：断面2における空気の流速、 v_{3a} ：断面3における空気の流速、 p_{2a} ：断面2における空気の圧力、 p_{3a} ：断面3における空気の圧力、 θ ：斜面角度、 W_a ：断面2-3間における空気の重量、 F_f ：断面2-3間において空気が受けるモルタルとの剪断抵抗力である。

また F_f は、吹付機の方向に沿って、空気が受けるモルタルとの剪断抵抗力を積分することによって求められる。

4. 空気を混ぜた場合における軽減重量の算出

(1) モルタルで充填されている場合

モルタルで充填されている場合における理論式(1)に数値を代入して、人にかかる重量 F_y を求めると以下ようになる。

$$F_y = W_h + W_c \approx 107.87 + 171.11 = 278.98[N]$$

$$W_h \approx 2.2 \times 5 \times 9.80665 \approx 107.87[N]$$

$$W_c \approx 2250 \times 0.001551 \times 5 \times 9.80665 \approx 171.11[N]$$

ここで、断面2-3間における吹付機の長さ:5[m]、吹付機の断面積:0.001551[m²]、吹付機の単位長さ当たりの重量:2.2[kg/m]、モルタルの密度:2250[kg/m³]、重力加速度:9.80665[m/s²]である。

(2) 圧縮した空気を混ぜる場合

空気を混ぜる場合における理論式(2)、(3)に数値を代入して、人にかかる重量 F_y を求めると以下ようになる。

$$\begin{aligned}
 F_y &= W_h + W_c - F_a \\
 &\approx 107.87 + 4.96 - 17.50 = 95.33[N]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & -\rho_{3a}A_{3a}v_{3a}^2 \cos \theta - \rho_{2a}A_{2a}v_{2a}^2 \sin \theta \\
 & = p_{2a}A_{2a} \sin \theta + p_{3a}A_{3a} \cos \theta - W_a - F_f - F_a \\
 \Rightarrow & -1.45 - 3.49 \approx 139.36 + 0 - 0 - 126.79 - F_a
 \end{aligned}$$

ここで、 ρ_{2a} ：2.65[kg/m³]、 ρ_{3a} ：1.16[kg/m³]、 $A_{2a}=A_{3a}$ ：0.001506[m²]、 v_{2a} ：35.13[m/s]、 v_{3a} ：34.24[m/s]、 p_{2a} ：130.80[kPa]、 p_{3a} ：0[kPa]、 θ ：45[度]、 W_a ：0[kg]、 F_f ：126.79[N]である。

また、空気の支配断面積は、モルタルと空気の流量比、空気の密度は理想気体の状態方程式、空気の流速は圧縮性気体のベルヌーイの定理から算出している。さらに仮定として、空気の重量を0としていること、空気の圧力は先端に向けて線形的に減少すること、吹付機との摩擦は考慮していないこと、モルタルは重量のみがかかることがあげられる。

(3) 軽減重量の算出

4-(1)、(2)の結果より、空気を混ぜる場合の軽減重量を算出すると、278.98-95.33=183.65[N]となり、およそ18.73[kg]軽減することが分かった。また人にかかる重量が軽減した最も大きな要因は、モルタルが空気に変わったことによる重量の差であり、実際に、183.65[N]のうち、モルタルが空気に変わったことによる軽減重量は、171.11-4.96=166.15[N]であることから、約90[%]を占めていることが分かる。

5. まとめと今後の展望

本研究では、吹付法枠工法時において、人にかかる重量を算出する理論式の提案を行った。さらに具体的な数値を代入することによって、定量的に軽減重量を算出し、軽減させる最も大きな要因は、モルタルが空気に代わることによる重量の差であることを明らかにした。今後は理論式における仮定を減らし、実際の現象に近づけつつ、人にかかる重量だけでなく、投入する空気の量によって吹付けられるモルタルの量はどの程度変化するのか、分析を行っていきたい。

6. 参考文献

- 1) 石関嘉一，加藤佳孝，西村次男，魚本健人：吹付けコンクリートの施工条件がリバウンドに及ぼす影響，土木学会論文集，Vol.69，No.2，p.227-240，2013.
- 2) 日野幹夫：明解水理学，p.55-56，1983.
- 3) 昇栄工業株式会社，吹付法枠工，

<https://www.shouei-kogyo.com/fukitukeframe>

(2021年1月18日閲覧)