

高所法面における V 字吊ワイヤー遠隔操作油圧ショベルの開発経緯と現況

藤中裕幸・清水明彦

建設業における労働災害発生状況において、「墜落・転落」が全数に占める死亡者数と死傷者数のいずれも最多となっており、長年にわたり事故原因として最も多い事故の型別である。事故発生場所の一つでもある高所法面作業での事故を生じさせない為に、従来は人力で作業していた切崩し、法面整形、既設構造物取壊しなどの作業を、高所法面で施工可能な V 字吊ワイヤー遠隔操作油圧ショベルを開発した。本稿では、建設機械を高所に吊下げる安全性及び法的な検証を述べる。また現況報告をする。

キーワード：法面、油圧ショベル、労働災害、高所作業、切崩し、遠隔操作、無人化

1. はじめに

2022 年の建設業における労働災害発生状況（事故の型別）による「墜落・転落」の死亡災害者数は 116 人と全体の 41.2% と高い割合となっており、頻繁に繰り返されている事故要因である。また死傷災害数においても 4,594 人で死傷者数全体の 31.6% と高い割合である（表一 1）。

表一 1 建設業における労働災害発生状況（事故の型別）
出典：厚生労働省 労働災害発生状況

		H29	H30	R1	R2	R3	R4
死亡災害		323	309	269	256	278	281
業種別	土木工事業	123	111	90	101	100	108
	建築工事業	137	139	125	101	132	117
	その他の建設業	63	59	54	54	46	56
事故の型別	墜落・転落	135	136	110	95	110	116
	はさまれ・巻き込まれ	28	30	16	27	27	28
	崩壊・倒壊	28	23	34	27	31	27
	激突され	23	18	26	13	19	27
	交通事故（道路）	50	31	27	37	25	24
	飛来・落下	19	24	18	13	10	16
死傷災害		15,129	15,374	15,183	14,790	14,926	14,539
業種別	土木工事業	4,015	3,889	3,808	3,933	4,038	3,942
	建築工事業	8,306	8,554	8,417	8,074	7,895	7,606
	その他の建設業	2,808	2,931	2,958	2,783	2,993	2,991
事故の型別	墜落・転落	5,163	5,154	5,171	4,756	4,869	4,594
	転倒	1,573	1,616	1,589	1,672	1,666	1,734
	はさまれ・巻き込まれ	1,663	1,731	1,693	1,669	1,676	1,706
	飛来・落下	1,478	1,432	1,431	1,370	1,363	1,318
	切れ・こすれ	1,312	1,267	1,240	1,257	1,339	1,272
	動作の反動・無理な動作	880	875	885	947	981	940
	激突され	734	832	842	791	825	800
	高温・低温物との接触	210	340	238	289	210	233

他方で建設業就業者数は 2022 年には 479 万人で、ピークであった 1997 年の 685 万人から 7 割の就業者数となった（表一 2）。また建設業就業者における 55 歳以上の割合は、2003 年では全就業者数の 26.0% であったが、2022 年には全体の 35.9% となり、全産業平均の 31.5% と比べて高齢化が著しく高くなっている（図一 1）。建設業の生産体制を将来にわたって維持していくためには、人力で行っていた作業の省力化と生産性の向上とともに、労働災害事故を発生させないような安全性を念頭に置いた機械化という観点で開発を進めていかなければならない。

表一 2 建設業就業者数の推移
出典：総務省 労働力調査

年	建設業就業者数 万人	建設技能者数 万人
1997	685	464
2002	618	431
2003	604	417
2004	584	399
2005	568	394
2006	560	387
2007	554	383
2008	541	371
2009	522	353
2010	504	341
2011	502	336
2012	503	337
2013	500	341
2014	507	345
2015	503	336
2016	495	332
2017	499	334
2018	505	331
2019	500	327
2020	494	322
2021	485	314
2022	479	305

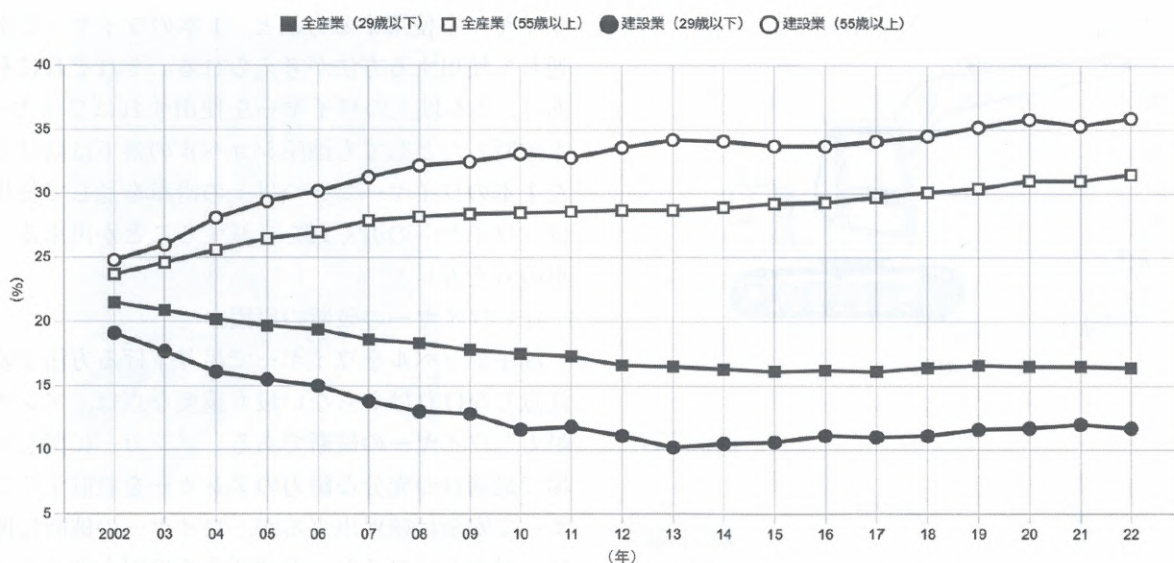


図-1 建設業就業者の高齢化の進行
出典：総務省 労働力調査

2. 高所法面作業の機械化における法令上の注意点

(1) 斜面上への油圧ショベルの据え付け方法

高所法面における油圧ショベルでの作業においては、急勾配斜面でも油圧ショベルを安定して据え付ける必要がある。油圧ショベルの荷重に耐えうる強固な足場を設置する方法もあるが、設置が困難な現場の場合には油圧ショベルを急勾配斜面に安定して据え付ける方法として、斜面上部よりワイヤーで吊り下げる方法が挙げられる。

(2) 油圧ショベルを斜面上にワイヤーで吊り下げる際の法令上の注意点

建設業界においてワイヤーで何かを吊り下げる機械として最も一般的なものはクレーンであるが、油圧ショベルをワイヤーで吊ることはクレーンとは構造上異なり、また地切りされていない状態で傾斜地を走行することから、荷（重量物）を、動力を用いて吊り上げまたは水平に運搬することを目的とする機械装置ではなく、クレーン等安全規則には該当しないものである。

しかしながら、油圧ショベルに操作者が搭乗して作業する場合においては、ワイヤーで吊った機械装置に人が乗る定義に該当する可能性があることから、クレーン等安全規則 第六章 第一節 第七十四条の建設用リフトにおける設置届や、鉄道事業法 第三章 第三十三条の索道事業の許可申請に該当する可能性があることは注意が必要である。ただし油圧ショベルをワイヤーで吊り下げた状態で操作者が搭乗せず、遠隔操作において建設機械を運転することによって各種法

令に該当しない状態で作業することは可能である。

油圧ショベルの遠隔操作においても、車両系建設機械（整地・運搬・積込み用及び掘削用）の運転技能講習を修了した者でなければ業務に就かせてはならない。またブレーカーを使用した業務に従事する際は車両系建設機械（解体用）運転技能講習を修了した者でなければ業務に就かせてはならない。

3. 高所法面作業の機械化における安全上及び作業効率上の注意点

(1) 油圧ショベルの本来の作業効率を斜面上で発揮する注意点

国内はもとより世界各国に建設機械メーカーは多数あり、各メーカーが様々な機能や特徴のある建設機械を製造販売しているが、掘削用建設機械に関しての外観は概ね同様な形状をしている。特殊な使用方法や動力を除き、バケットを使用した掘削に関して油圧モーターと油圧シリンダーを動力とした場合において最も作業効率の良い形状が現在の一般的な油圧ショベルだということは、開発者・使用者の共通した認識であり、斜面上の掘削作業においても可能な限り一般的な油圧ショベルの形状に近い外観を保つことが作業効率を保持することに繋がる点を確認しておく（図-2）。

また油圧ショベルは、エンジンによって油圧ポンプを回し、圧力をかけた油をコントロールバルブによって油圧モーターや油圧シリンダーに送り込む技術を使用しているので、油圧ショベルのエンジン能力によって最適な油圧量が設定されている。本来機能以外に油圧負担を掛けることは、本来の油圧ショベルの能力を

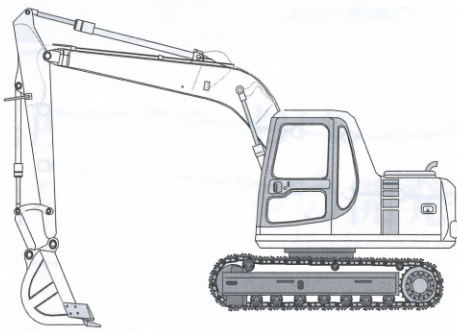


図-2 油圧ショベル

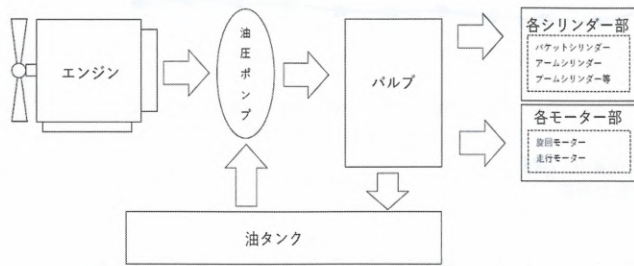


図-3 油圧の仕組み (簡略図)

発揮することが出来なくなる点も考慮することが作業効率の保持には重要である (図-3)。

(2) 油圧ショベルを斜面上にワイヤーで吊り下げ際の安全上の注意点

(a) ワイヤーの取り付け箇所

斜面上に油圧ショベルを据え付けるために前述のワイヤーで油圧ショベルを吊り下げる方法を検討する。ワイヤーを油圧ショベルのどこの箇所に取り付けることが最適なのかを、安全上及び作業効率上の2点から検討する必要がある。油圧ショベルは構造上からアタッチメント部 (アーム部) と上部旋回体 (キャビン)、下部走行体 (キャタ) の3箇所に区分することが出来る。斜面上で安定性を確保するためには、油圧ショベルの重心高さを下げることが重要となってくるので、3箇所のうち下部走行体へのワイヤーの取り付けが最も安定する。またアタッチメント部と上部旋回体へのワイヤーの取り付けは、地山へのワイヤーの干渉が生じない利点はあるものの、斜面上での安定性の確保という観点からは適していない。

(b) ワイヤーの吊り下げ方法

対象斜面上部にアンカーを設置し、ワイヤーで油圧ショベルを吊り下げる際には、安全面からアンカーは1箇所ではなく、2箇所以上に分散することによって、アンカーの耐力低下等の不測の事態を防ぐことが出来るので、アンカーは2箇所以上とすることが望ましい。

2箇所以上でアンカーを分散する際に、2本以上の

ワイヤーを使用する方法と、1本のワイヤーで滑車を通して使用する方法が考えられる。それぞれに利点があり、2本以上のワイヤーを使用すればワイヤーが1本破断したとしても油圧ショベルの落下は防げる。また1本のワイヤーで2つ以上の滑車を通して使用すれば、ワイヤーの引く力を半減することが出来る (動滑車の考え方)。

(c) ワイヤーの破断の原因

油圧ショベルをワイヤーで吊り下げる方法で安全上注意しなければならない最も重要な点は、アンカーの耐力とワイヤーの破断である。アンカーに関しては現場で最適且つ十分な耐力のアンカーを設置することによって安全は確保出来るが、ワイヤーの破断に関しては、斜面上でワイヤーが破断する原因を押さえておく必要がある、主に3つの原因が考えられる。

- ①ワイヤー破断荷重以上の過荷重が掛かり破断
- ②ワイヤーの摩耗・劣化による破断
- ③ワイヤーが作業中に破断原因になるような箇所への接触による破断

上記のワイヤーが破断する原因に対しての対策を講じて吊り下げ方法を対策しておかない限り、ワイヤーが2本以上であったとしても油圧ショベルの落下する可能性を排除することが出来ない。

4. V字吊ワイヤー遠隔操作油圧ショベルの概要

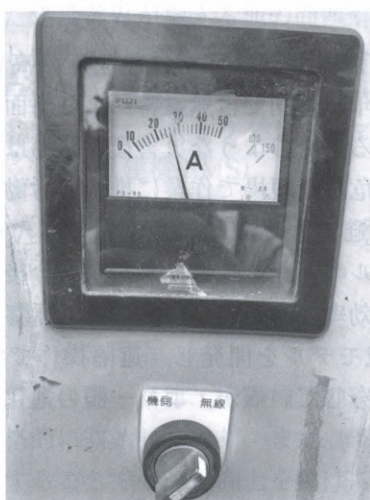
(1) 油圧ショベルとウインチの分離設置の利点

油圧ショベルを斜面上に据え付けるためには、ワイヤーを巻上げ・巻下げる装置が別途必要となるが、油圧ショベルを斜面上で本来の作業効率を発揮させるためには、油圧に負担を掛けないことが重要であることから、ウインチは油圧ショベルに搭載せず別々の機械装置とした。また斜面上に据え付けた油圧ショベルの重量でウインチが引き寄せられないように、別の油圧ショベルを重し (重量物) として一体化する方法を採用する (写真-1)。

利点としては前述の油圧の過負担を与えない点と、油圧ショベルの故障時にもウインチ自体は動かすことが可能な点が挙げられる。また、ウインチに巻かれるワイヤーの状態を目視等で監視することが出来るため、ワイヤー破断原因の摩耗・劣化を常時確認することが可能となる。加えてウインチに荷重を換算できる電流計を装備することにより、ワイヤー破断荷重以上の過荷重が掛かっているかどうか監視することが出来る (写真-2)。



写真一 1 ウインチと0.45 m³油圧ショベル（重量物置換アンカー）

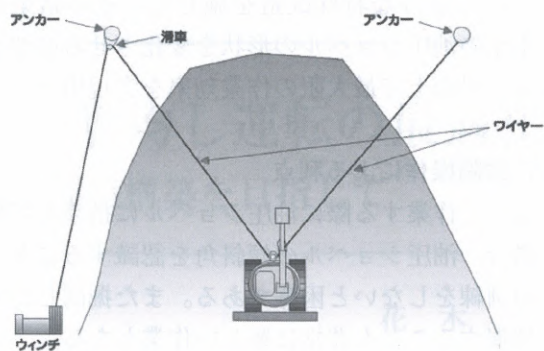


写真一 2 電流計

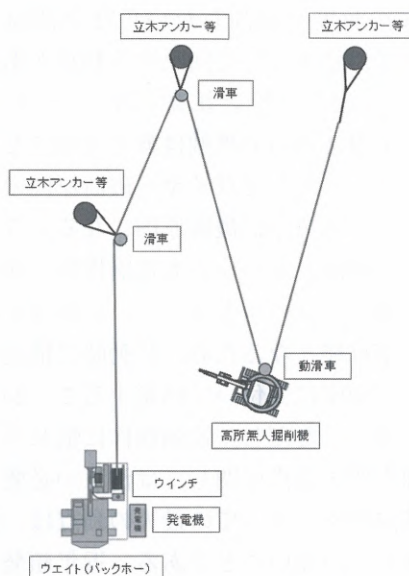
(2) V字吊ワイヤーの利点

斜面上において、360度の作業範囲と360度の移動が出来なければ、油圧ショベル本来の作業効率からは大きく離れてしまうため、アンカーを2箇所使用し、斜面上に吊り下げる油圧ショベルにも滑車を装着したV字吊ワイヤリング方式を採用することとした（図一4、5）。また、アンカーが上部に固定されていても、油圧ショベルが安定して旋回出来るように、上部旋回体と下部走行体の間に円盤を取り付けて、滑車が円盤の端をレール代わりに滑って自由に動かせるようにベアリング付き滑車取付装置を開発した（図一6）。

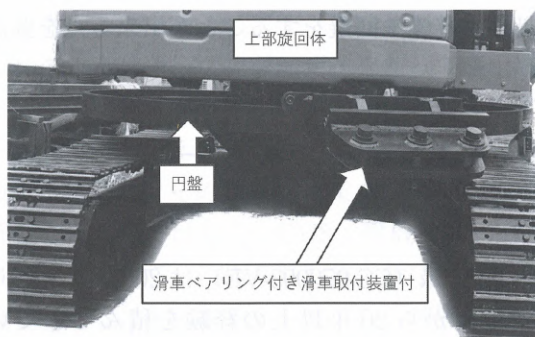
V字吊ワイヤーと円盤の組み合わせにより、油圧ショベルが上下左右どの方向に向いていても、ワイヤーは常に上部のアンカー方向を支持することにより安定性を保つことを実現し、2箇所のアンカー間であれば360度の移動が可能となった。



図一 4 V字吊ワイヤーイメージ1



図一 5 V字吊ワイヤーイメージ2



図一 6 円盤部拡大

(3) 斜面上での油圧ショベルの安定した稼働の改造

通常の油圧ショベルの最大傾斜角度は概ね30～35度といわれており、それ以上の角度を登坂すると転倒する危険がある。また35度を超える傾斜になると、燃料の供給が不安定となり、オイルやラジエーター水が下側に偏ってしまっ循環しなくなる結果、オーバーヒート等の問題が生じる。

燃料の安定供給と、オイル・ラジエーター水の循環を円滑にすることにより、登坂勾配70度まで不具合

が生じないような特殊改造を施した。その結果として、本来の油圧ショベルの形状を変化させる必要がなくなり、斜面上で最大限の作業効率を実現出来た。

(4) 遠隔操作による利点

斜面上で作業する際に油圧ショベルに搭乗して作業した場合、油圧ショベルの傾斜角を認識することは、相当の訓練をしないと困難である。また掘削したい角度を把握することも非常に難しい作業となる。

遠隔操作で斜面上に吊り下げた油圧ショベルを操作することにより、操作者は離れた場所から、現在の油圧ショベルの角度や掘削したい角度を把握できるため、作業効率が結果として向上する利点がある。

また前項2.(2)の懸念事項であったクレーン等安全規則、鉄道事業法への抵触は無くなることも利点として挙げられる。そしてワイヤー破断原因の一つである「ワイヤーが作業中に破断原因になるような箇所への接触による破断」という点も遠隔操作であれば、操作者が常に油圧ショベルとワイヤーの状態を目視で確認することが可能となるため、移動時に構造物や岩塊への接触にも即座に気付いて回避することが出来ることも利点である。ただし、遠隔操作に慣れるためには相当な時間を要する点に関しては注意が必要である。

そして遠隔操作によつての最大の利点は、油圧ショベルに搭乗していないことである。近年頻発している地震や線状降水帯等の不測の事態が発生したことが起因して、突発的な斜面の崩落や落石が生じても、労働者が迅速な避難や回避をすることが出来る点を強調したい。

5. セーフティークライマー工法 (SCM) の現況

NETIS登録 (CG-070003-VE) は2007年であり構想初期段階から20年以上の経験を積んできているが、最近の工法採用傾向を見ると、機械化の要求・人手不足の影響を以前にも増して強く感じられるようになった。ごく小規模な現場では、設備の少ない人力施

工の方が安価になるのは当然であるが、そのような現場でもSCMが多く採用されている。情緒的な比較・安全性の比較・人手不足が一律的な価格比較を越えてきているのだと感じる。

施工目的も、新設需要より更新需要・災害対応需要が多くなってきている。新設需要としては、法面の上段部・トンネル終点側坑口上段斜面・砂防ダム袖部上段斜面などが目立つ。更新需要としては、劣化モルタル斜面の取り壊し、災害対応では、滑落部のラウンディング・崩壊斜面の整形等が目立つ。

施工内容からも、機械化・省力化・無人化への強い要求が見て取れる。

6. おわりに

斜面上の建設工事は非常に危険度の高い作業が多く、また近年は全国で自然災害による斜面崩落が多く発生している。そのような災害復旧現場は不安定な地山であり、危険な現場で作業に携わる労働者が事故から未然に回避できるようにV字吊ワイヤー遠隔操作油圧ショベルの開発を進めてきたが、今後も更なる安全性と作業効率の向上を目指していく所存である。現在ICT搭載モデルを開発し、遠隔操作でマシンガイダンス施工をしているが、より一層の進化を目指していく。

JCMA

[筆者紹介]

藤中 裕幸 (ふじなか ひろゆき)
セーフティークライマー協会 技術・工法委員
(株) Sakatec 取締役副社長



清水 明彦 (しみず あきひこ)
セーフティークライマー協会 工法普及委員
(株) Sakatec 取締役営業本部長

