

超大型建設機械対応コントロールバルブの開発

高 圭 介

この度 200 ton 超のマイニング油圧ショベルの新系列として 300 t から 400 t の中間サイズになる PC3400-11M0 を開発・市場導入した。マイニング及び建設機械のコンポーネントは基本的に自社製品を搭載しているが、今回の超大型建機対応の超大型コントロールバルブが系列にないため、この度車両の開発に合わせて新規に開発した。本稿ではその概要について紹介する。

キーワード：超大型建設機械，マイニング，油圧ショベル，コントロールバルブ

1. はじめに

近年、世界各地の鉱山においてダンプトラックの積載量が大型化しているため、これに伴い掘削機であるマイニング油圧ショベルのバケット容量も大型化しており、従来からある 300 t と 400 t の系列の中間サイズに適したバケット容量に合わせた車格の機種について新開発となった（写真—1）。従来よりエンジンをはじめ油圧機器やトランスミッション、電子機器やコントローラや制御まで自社製品が基本で、各コンポの協調による作業性や燃費性能の作りやすさ及び優れた車体への搭載性につながられている。今回も開発機種の作業性、燃費、搭載性に適切に対応するべく超大型対応の新規コントロールバルブ（写真—2）を開発したので概要を紹介する。



写真—1 開発機 PC3400-11M0 の外観



写真—2 本稿紹介コントロールバルブ

2. 開発の背景

現バルブ系列の最上位機器は 80 ton クラスの油圧ショベルに最適設計されており、それ以上の 100 t や 200 t クラスには数を増やすことで対応している。この思想で設計した場合、数量が多すぎてコントロールバルブの搭載性や配管設計が非常に複雑になるうえ組立性、メンテナンス性も悪くなる事は必至である。車両従来系列の 300 t, 400 t には他油圧機器メーカー製のコントロールバルブが搭載されており、それを継続使用する選択肢もあったが、新機種の電子制御油圧システムで採用するには電子制御機器と制御用配管が煩雑化するためそれらをビルドインした新バルブを開発することとした。また燃費改善のためバルブの圧力損失低減も織込むこととした。

3. 新バルブの仕様及び特徴

(1) 主な仕様

現バルブ系列と比較しながら仕様を検討した（表—1）。燃費改善としてポートサイズ UP, スプール径

表-1 従来と本稿の仕様比較

系列	80～200t用バルブ	300t超量産バルブ	本開発バルブ
ポートサイズ	SAE #14相当	SAE #14フランジ	SAE #20フランジ
定格圧力	35 MPa	35 MPa	35 MPa
定格流量	500 L/min	1000 L/min	1000 L/min
圧力損失	300%	基準 (100%)	80%
自動化・ICT	対応困難	対応不可	対応済

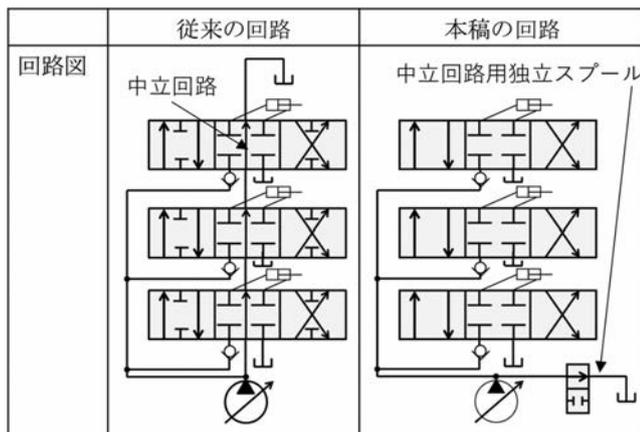
UPを採用する事とした。サイズUPにより大型化するが、従来品からの等比設計に当てはめるとバルブ自体が非常に大きく重くなってしまうため、次項で述べるように設計的に小さくする工夫を取り入れた構造とした。また平行して生産部門にも入ってもらい、物づくりの面からも検討を重ね大きさを最小化するように進めた。これはコンポーネントを自社開発しているからこそできる強みである。

(2) バルブ構造の工夫

開発機種では電子制御油圧システムを採用し、操作レバーの操作量に応じて可変ポンプ斜板とバルブスプールストロークを比例作動させ流量制御をする。通常のコントロールバルブは①中立状態で可変ポンプの最小斜板流量をタンク回路に戻す中立回路 ②ポンプからアクチュエータへのメータイン回路 ③アクチュエータからタンクへのメータアウト回路が必要になる。この3回路を各セクションにレイアウトすると横幅が大きくなる。大きくなるとバルブ弁室が大きく、スプールも長くなり、場積と重量も増え、必要な加工、検査の増加、寸法精度への影響と様々な技術的ハードルが高くなってくる。

そこで本開発では①の中立回路を各セクションから分離し、独立したスプールにして横幅を抑え、中立ス

表-2 従来と本稿の回路比較



プールは空いている場所に入れる事で場積、重量を最適化させた(表-2)。場積が小さくなることで車体への搭載性も向上した。

また、中立回路を独立スプールにしたことでポンプ斜板制御と各セクションのスプール制御とは別にこの中立回路スプールでポンプ圧の立ち上がりかたを調整でき、作業内容や負荷に応じて操作性や動特性を変えることができるようになった。これは従来のコントロールバルブでは構造上できなかったことである。

(3) 自動化及びICT対応

コントロールバルブは内部のスプールという部品を油圧で制御し内部で油路を切換えポンプからの油をアクチュエータに分配している。従来機種は車両のキャビン内の油圧パイロット弁からの油圧信号をホースでバルブまで導きスプールを駆動していたが、本バルブではバルブ内に電磁比例パイロット弁(図-1)を取り込み駆動することで油圧ホースによる遅れ要素を無くし応答性を飛躍的に向上させた。さらに電磁比例パイロット弁の適切な制御で作業機の急操作時の車体ショックの低減や複合操作の向上を達成した。

また、各セクションにはスプールの位置が分かるストロークセンサ(図-2)を装着し、流体力によって指令とのずれが発生するが、このずれを感知し精度を向上する事ができるようになった。以上により将来の

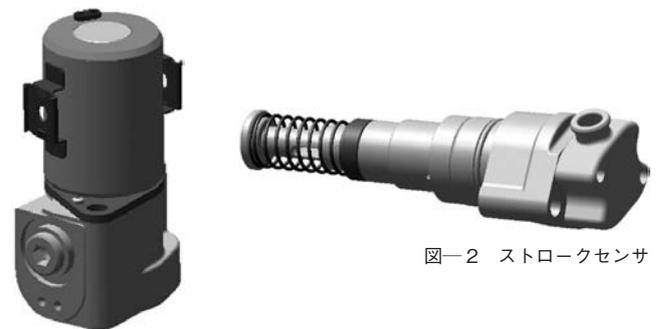


図-1 電磁比例パイロット弁

図-2 ストロークセンサ

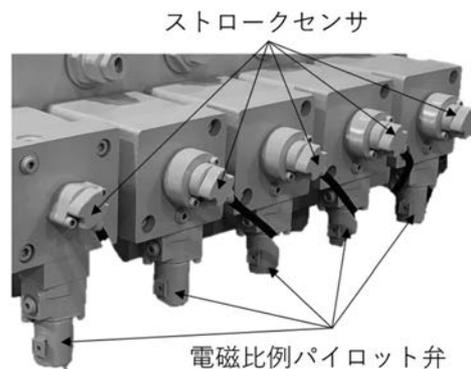


図-3 電子機器の搭載

自動化やICT化への対応が容易になった。なお、この電磁比例パイロット弁、ストロークセンサも自社開発で、建設機械の過酷な環境で使用できるように設計した専用設計品である。

バルブへの搭載については図を参照（図-3）。

(4) 車両性能の狙いに対する効果

今回の開発でコントロールバルブ及び電子化油圧システム化の採用や車体仕様の変更で生産量の向上、燃費性能の向上を図ったがいずれも達成された。

①生産量の改善

従来の積み込み機（300 t）に対し積み込み時間を25%短縮

②燃費性能の向上

従来の積み込み機（300 t）に対し単位馬力当たり20%の燃費低減

4. MBD 開発

(1) 試作前

従来の開発では過去の実験値に基づく各仕様の横にらみで開発の仕様を決め、試作品ができてから試験をして目標との差異に対し水準部品を作り再試験をするというやり方で進めていたが約20年前からシミュレーション技術の発達に伴い応力解析による強度設計、流体解析による油圧ロスやフローフォースの機能設計、MATLABやAMESimによるメカ・油圧及び制御の性能設計を試験と併用して実施し試験結果との同定や優位性確認を行ってきた。今回の開発ではやり直し防止と開発の効率化を狙い、強度設計と機能設計をバルブの図面検討と並行して行ったので事例を紹介する。

①強度設計

応力解析ソフトのFEAで発生応力を計算し材質強度より発生応力が大きくなる箇所を特定、形状、加工変更で対策を行った（図-4）。

②機能設計

今回の仕様は今までにない大流量、高流速であるため、流体解析ソフトのCFX等によりフローフォース設計を行いスプールの制御性が最適となる形状設計を行った（図-5）。

(2) 試作品確

試作に入り新バルブを車載し品確を始めると、事前にいろいろシミュレーションはしているもののやはり今まで経験のない超大型のバルブという事で思いもか

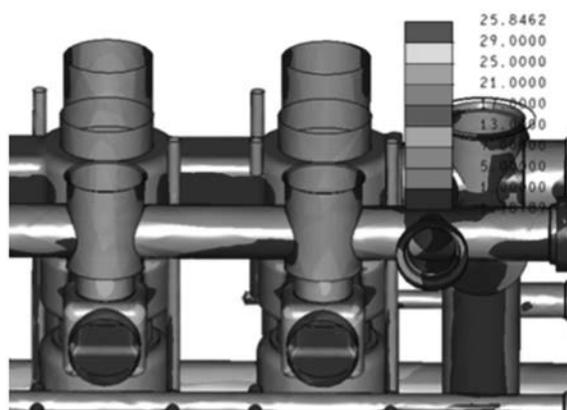


図-4 FEA 応力解析例

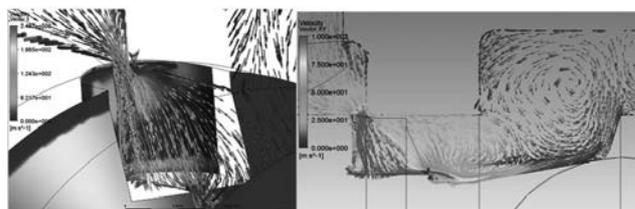


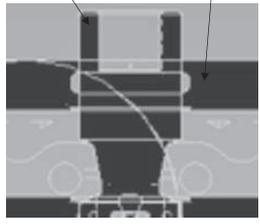
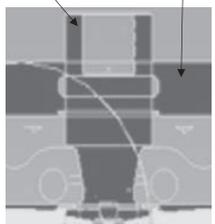
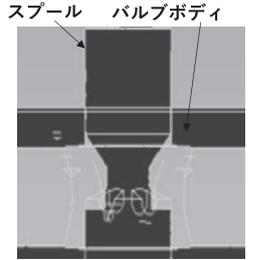
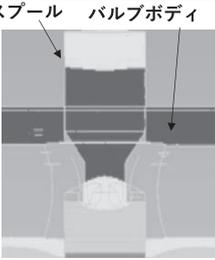
図-5 CFX フローフォース解析例

けない問題がいくつか発生した。そこでこれら問題に対してもシミュレーションを用いて問題の再現と対策の水準に対する効果の検証を行った。開発機種は非常に高価で試作車も複数台は作れず1台体制のうえ膨大な量の確認項目があるため新バルブの問題の確認に使える時間が限られる、新バルブが大きいため対策確認水準品も結構高がつき、また製作に時間もかかるという制約に対し、シミュレーションによって多くの水準を極短期間で試し絞り込む事ができた。

①低温時の操作性悪化問題

新バルブは車載前にベンチで一通りの品確を実施するのだが、冬になり気温が低い時期になって操作性が変わったとの指摘が出た。朝動かし始めてからしばらく稼働させていて油圧回路が温まり、バルブも温まり切るまでのあいだ起きている。レバーの指令とスプールの動きであるストロークセンサの信号を確認して指令に対する誤差が大きくなっている事が分かった。どうも温まる過程でバルブボディとスプールのクリアランス（組立スキマ）がそれぞれの熱容量の差で変わってきて誤差がでていたと考えられた。そこで熱解析を用いバルブボディとスプールの熱伝達度合いをこの問題が起きたことのない従来バルブ（80～200 t用）と本開発バルブ両方を解析し、比較してみた（表-3）。時間経過とともにバルブボディ、スプールとも温たまっていくが従来バルブに比べスプールの温まり方が早い本開発バルブはバルブボディに比べスプール温度が相対的に高めでありスプールが膨張してスキマが狭

表-3 従来と本稿バルブの仕様比較

	スタート時(20°C)	240sec後
80~200t用		
本開発バルブ		

②作業機急停止時のフレーム応力過大問題

応力過大とのことで応力が高い時の油圧を測定して見ると高いピーク圧が立っていた。バルブにはポートリリーフ弁が装着されていてピーク圧をカットする設計ではあるが、このポートリリーフ弁の性能が開発機種仕様の的に足りていないと思われた。フレーム応力とピーク圧が比例関係にあると考え、応力を7.5%低減させれば強度上許容されるとし、ピーク圧の目標を設定した。対策はポートリリーフ弁の「流量 vs 圧力性能」を改善する事としたが「流量 vs 圧力性能」の静特性がどのくらいになればピーク圧が目標以下になるかを AMESim にて動的に解析した。車体のモデルと油圧回路モデルを作り作業機急停止の油圧波形を実測と同定した後、ポートリリーフ弁の「流量 vs 圧力性能」水準をいくつか考え動解析で最も効果のある水準を選んだ(図-6)。この水準を試作車に組み込み確認した結果、ほぼ解析通りの結果となり対策できた。

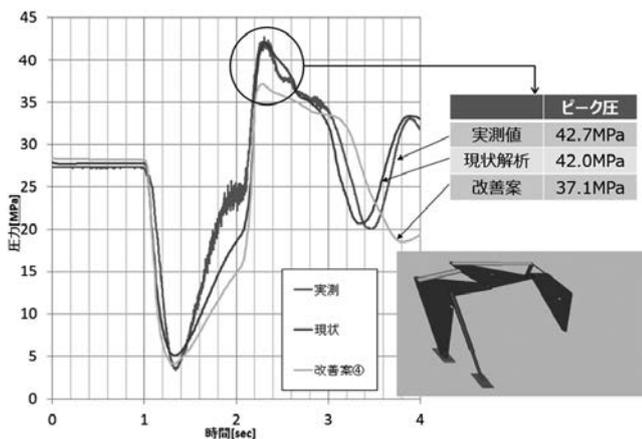


図-6 AMESim シミュレーション結果

くなっていると考えられ、対策としてバルブボディとスプールの組立スキマを膨張も考慮して適正な値に変更した。

5. おわりに

本稿ではコントロールバルブの開発について紹介した。開発したコントロールバルブと電子化油圧システムで車両の性能向上に貢献できたと思う。今後もこのコントロールバルブ及び油圧システムを機種展開できればと考える。

JCMA

[筆者紹介]

高 圭介 (たか けいすけ)
 コマツ
 開発本部 油機開発センタ
 所長付

