

東海道鉄道ルートにおける 路線および線形の変遷に関する研究

橋本 渉一*

Transition of Route and Track Standards in Tokaido Railway Line

Shoichi HASHIMOTO*

ABSTRACT

Chuo Shinkansen adopted Magnetic Levitation System is decided to construct from 2014. Tokaido line is the most important route for transport of passenger and freight in Japan from Meiji era. Tokaido narrow gauge line is opened in 1889, from Tokyo to Kobe. New Tokaido trunk line, Tokaido Shinkansen is opened in 1964, from Tokyo to Shin-osaka. Next stage, Chuo Shinkansen using MAGLEV System is planned opening in 2027 from Tokyo to Nagoya. These three railway system operating speeds are increasing up and trip time have been changing shorter and shorter. Track or guideway standards such as horizontal or vertical curvature radius, steepest gradient, length of transition curve have changed. Consequently these routes are selected near straight line as increasing speed. In this study, range of construction standards and route selection are explained at these three stage Tokaido railway systems.

Keywords : Tokaido-line, Shinkansen, MAGLEV, speed up, railway standard

1. はじめに

我が国における鉄道は、1872年新橋～横浜(汐留～桜木町)間によりその歴史が始まった。これはイングランドのストックトン～ダーリントン間の世界初の鉄道創業47年後のことであった。引き続き1874年大阪～神戸間、1877年京都～大阪間と延伸され、1889年には東京～神戸間の東海道線が全通した。国力増強に対する鉄道の重要性を認識した明治新政府は開業後17年で我が国の幹線である東海道線(新橋～神戸)を完成させた。

その後1901年の全線複線化まで12年、全線電化までは第2次世界大戦後の1956年まで67年を要することとなった。

戦後の高度経済成長に伴い、東海道ルートの旅客および貨物の輸送需要は増加を続け、狭軌複線のみによる輸送能力は逼迫してきた。

1964年10月の東京オリンピック開幕時期に合わせるため標準軌別線で東海道新幹線建設が進められ、世界初の200km/h超の営業運転が開始された。これはその後世界各国の200km/h鉄道高速化の嚆矢となった。

新幹線開業前の1962年から国鉄鉄道技術研究所において開発が開始された、我が国独自の技術開発である超電導磁気浮上式鉄道は、1977年から宮崎実験線において走行実験が行われ、1997年からは山梨実験線において実用化を目指した走行実験が続けられてきた。¹⁾

JR東海から中央リニア新幹線の2014年度の着工、2027年東京～名古屋間の営業運転開始の計画が発表された。

明治以来、日本経済を支える大動脈であった東海道メガロポリスを貫く路線において、線形基準と路線選定の変遷を比較検討した結果について報告する。

2. ルートの変遷

125年前に開通した東海道線の初期ルートは、旧東海道にほぼ並行し人口のある都市を繋いでいるが、地形の険しい箱根を北方へ迂回する御殿場経由であった。

同区間は急勾配のため輸送のボトルネックとなっていた。輸送量増強と時間短縮のため、1934年に熱海～三島間に難工事であった丹那トンネルを貫通させ、国府津～沼津間は大きく短縮された。

東海道新幹線は標準軌が採用され、基本的に在来線ルートにほぼ並行しながら別線で建設された。東京～

* 都市工学科 特任教授

大阪の中間主要都市の駅は在来線と同位置であるが、駅間は構造物建設および用地買収の難易を考慮しながら直線的ルートが選定された。

中央リニア新幹線は、中間駅は各県に1駅置くのみであり、東京圏・名古屋圏・大阪圏を可能な限り短時間で結ぶことを目的としている。これにはトンネル掘削技術の進展により山岳地帯における長大トンネルが可能になったこと、大深度地下法の施行により大都市圏地下において直線的ルートが選定可能になったことが寄与している。(図1、図2)

2.1 路線延長 (表1)

東海道線、同新幹線、中央リニアの路線延長(平面距離)を地図ソフトを用い算出した。

東京～名古屋間は、東海道全通当初は378.3kmであったが、丹那トンネル開通の結果11.7kmの短縮が図られ、366.6kmとなった。

東海道新幹線では、多くの駅は在来線と共通位置にあるものの都市間では直線的な路線選定がなされ、在来線から-24.6kmの342.0kmとなった。

中央新幹線は全国新幹線整備法に基づく計画路線として位置づけられ、主な経過地として甲府市付近、名古屋市付近、奈良市付近として1973年に運輸省より告知されている。国での審議を経てJR東海は2011年6月に東京～名古屋間のルートおよび駅位置について計画を発表した。

南アルプス直下を横断することにより延長は新幹線に対して-56.0kmとなり、在来線からは-80.6kmと大きく短縮されることになった。品川～名古屋間の直線距離と比較して僅か21.2km長くなっているだけである。

2.2 時間短縮 (表1)

鉄道システムが進化することにより、車両の運転性能は大きく進化し営業速度は大幅に向上した。路線延長が短縮されたことと相俟って、到達時間は大きく短縮されることとなった。

我が国の鉄道創業時の最高速度は30km/h程度とされているが、新幹線開通以前の在来線特急の最高速度は100km/hまで向上された。

世界初の200km/h鉄道となった新幹線は、開業後永らく22年間は210km/hで停滞していたが、JR移行後東海道区間270km/h山陽区間300km/hまで向上し、2015年度には東海道区間285km/h運転が予定されている。なお東北区間では既に320km/h運転が行われている。

東京～名古屋間の所要時間は、新幹線開通前の在来特急の4時間14分から2014年時点の新幹線で1時間36分まで短縮し、中央リニア新幹線ではさらに56分間が短縮され40分が予定されている。

東京～大阪間では在来特急で6時間30分を要していたが、速度向上後の新幹線で現在2時間25分となり、中央リニア新幹線開通時には僅か1時間7分が予定されている。

3. 線形諸元の変遷 (表2)

鉄道のルート選定作業を行うには、予め定められた線形に関する基本諸元に基づく必要がある。

平面の計画は最小曲線半径と緩和曲線長より、縦断の計画は最急勾配と最小縦曲線半径より検討が可能となる。²⁾³⁾⁴⁾

3.1 最小平面曲線半径

平面曲線半径は走行速度、カント、車内床面並行加速度の3パラメータが相互に関係する。

在来鉄道から新幹線、磁気浮上リニアへと営業速度は飛躍的に向上しているが、車内乗客に許容される床面並行加速度は乗り心地の観点から0.08～0.09gでほぼ同一の管理目標値が採用されている。

最大カントは、鉄車輪鉄レール方式においては円曲線中に停止した場合の車両の内方転倒に対する安定性から決まっている。リニアにおいてはU形ガイドウェイにより転倒はないが、車内乗客の歩行性を考慮し決まっている。

カント、走行速度および床面並行加速度が決まると、曲線半径は(1)式で表される。

$$R = \frac{v^2}{g} \cdot \frac{1}{\alpha_u / \cos \theta + \tan \theta} \quad \dots \quad (1)$$

ここに R …平面曲線半径

v …走行速度

g …重力の加速度(9.8m/s²)

α_u …乗客の受ける床面平行加速度(g)

θ …軌道・ガイドウェイのカント角

3.2 緩和曲線長

直線から円曲線にかけて曲率・カントを連続変化させる緩和曲線を挿入する。その長さは鉄車輪・鉄レールシステムでは、(1)車両の3点支持による脱線に対する安全の限度、(2)カント量の時間的変化割合に対する乗り心地の限度、(3)超過遠心力の時間的変化割合に対する乗り心地の限度、の3条件から緩和曲線長が決められている。

ガイドウェイでは、車両の走行性・乗り心地に関係する、(1)台車の平面性、(2)車体のローリング角速度、(3)車体のローリング角加速度、(4)床面平行加速度の変化率の4条件から緩和曲線長が決められた。

3.3 最小縦曲線半径

縦曲線半径は走行速度、車内床面直角加速度の相互関係から(2)式で与えられる。

縦曲線走行時に車内では、凹区間では鉛直上向き定常加速度を受け、凸区間では鉛直下向き定常加速度を受けることになる。

$$R = \frac{v^2}{g \alpha_v} \quad \dots (2)$$

ここに R …… 縦曲線半径
 v …… 走行速度

g …… 重力の加速度 (9.8m/s^2)

α_v …… 乗客の受ける床面直角加速度 (g)

車内乗客に許容される床面直角定常加速度は乗り心地の観点から新幹線と同等の $0.05g$ を採用すると、 $40,000\text{m}$ となる。

3.4 最急勾配

最急勾配は、鉄車輪鉄レール方式では機関車のけん

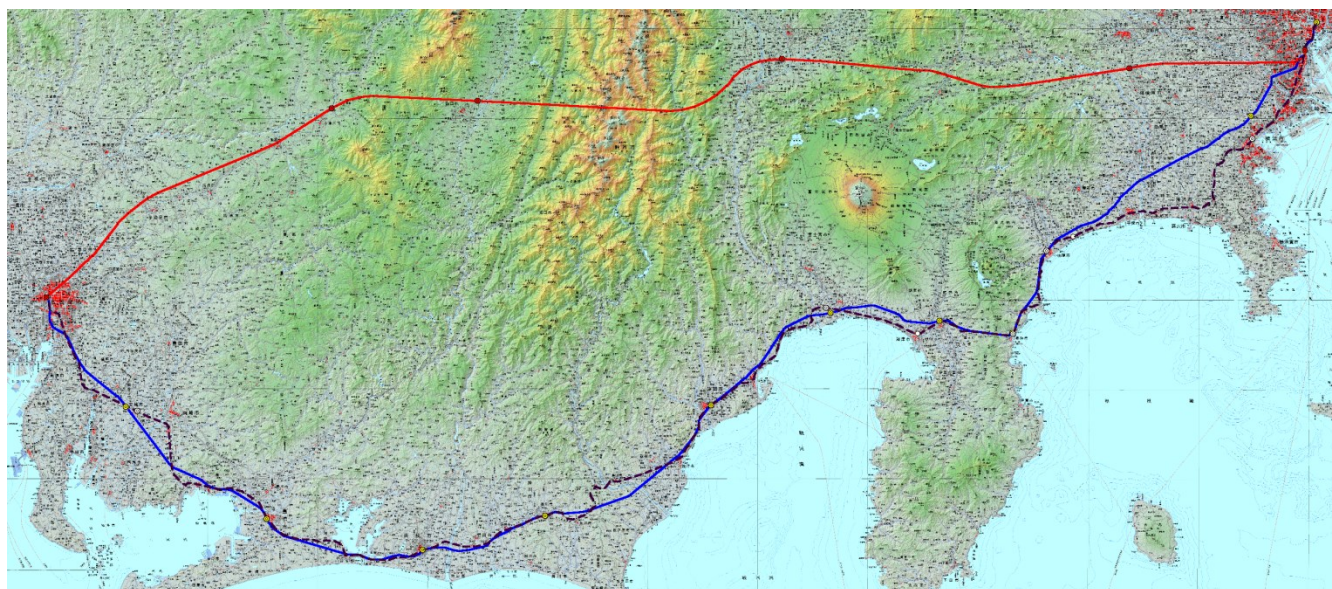


図1 東京～名古屋ルート

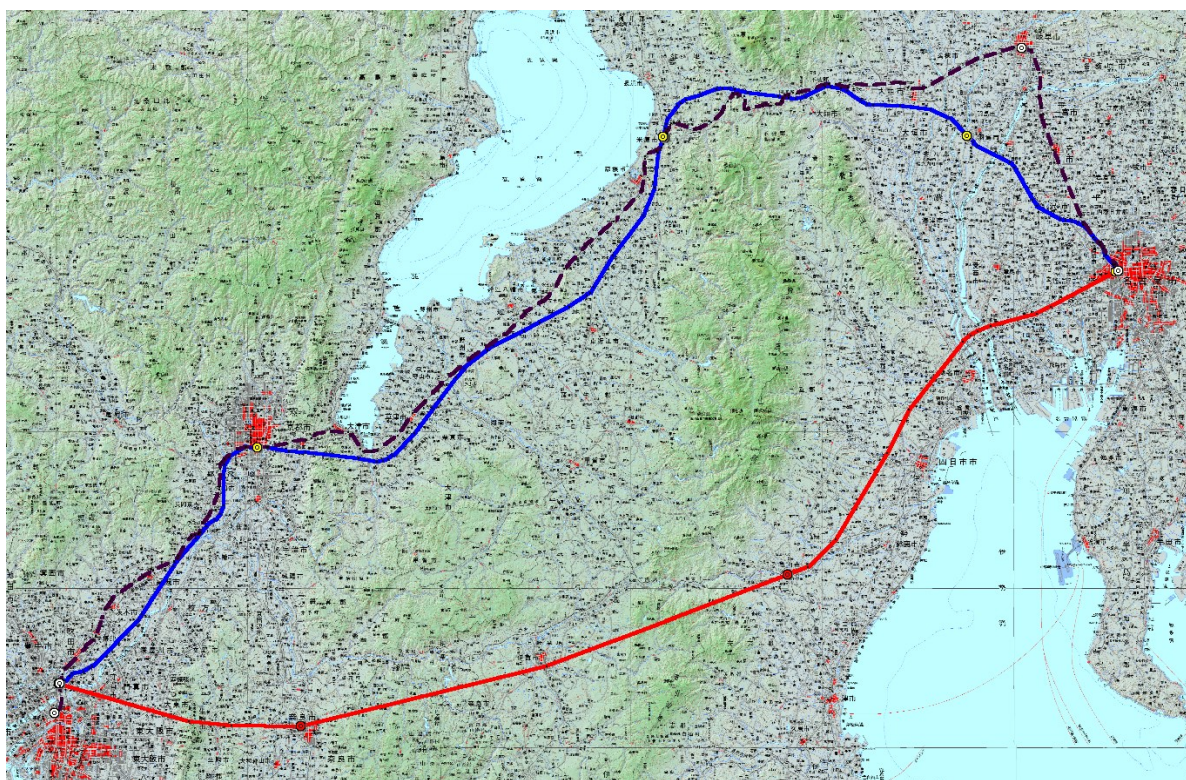


図2 名古屋～大阪ルート

引重量、速度を制約するなど輸送能率に大きな影響を及ぼすものであり、緩やかに設定することが望ましいが、地形および工事費を総合的に検討したうえ急勾配区間にも建設されることがある。

在来の狭軌線においては蒸気機関車の均衡速度を考慮して決められ、新幹線においては電車の主電動機の温度上昇を抑制するように決められている。

磁気浮上リニアモータ推進の場合、鉄車輪・鉄レール方式のように粘着力に頼るシステムではないため、リニアモータ出力を大きくすることにより登坂の勾配限界はない。我が国の河川支川の作る扇状地の勾配は最急40%程度である。これ以上に最急勾配を許容してもトンネル延長比率が減少すると考えられないため40%に決められた。

3.5 トンネル断面積

トンネル断面積は、高速すれ違い時の空力による車両への相互作用の影響を及ぼさないよう決められている軌道中心間距離と建築限界から決まる。

また高速鉄道の環境問題、トンネル高速進入時の出口側に発生する微気圧波音発生への対策としても、速度向上に連動して増加している。

4. まとめ

鉄道技術として第3世代となる超電導磁気浮上方式を採用した中央リニア新幹線は2014年の着工が決定された。鉄道技術開発の成果である新輸送機関が、我が国の21世紀の持続的発展に資することが期待されている。

在来方式の東海道線、標準軌別線の同新幹線から続く路線選定および線形の変遷についてまとめると以下のとおりである。

① 我が国に初の鉄道路線である東海道線は、機関車の登坂能力を考慮し、また当時の土木技術に見合い本来の地形の影響を受けた路線選定がなされた。結果として曲線半径および勾配は小さく抑えられ、路線延長は長くならざるを得なかった。

② 東海道新幹線は第2次世界大戦前に計画された弾丸列車計画の路線を引き継ぎ、中間主要駅は在来の東海道線に併設された。駅間部は高速運転が可能となるよう曲線半径は大きくより直線に近い路線が設定された。最急勾配は電車列車運転のみであり在来線より大きくされている。

③ 中央リニア新幹線の路線は、全国新幹線整備計画における中央新幹線を適用している。東海道ルートとは異なり、超高速走行が可能となるよう曲線半径はより大きく直線的となり、中部地域の山岳地帯を横断することとなった。また大都市部では大深度トンネル区間を走行し、リニアモータ推進であることから最急勾配は大きく設定された。

参考文献

- 1) 橋本渉一：「浮上式鉄道ガイドウェイの研究と技術開発」, 土木学会論文集, No. 619/ I -47, pp. 1-12, 1999年4月
- 2) 橋本渉一「超高速鉄道の線形基準」神戸高専研究紀要, 第39号, 2001年3月
- 3) 橋本渉一「超高速鉄道における車内加速度の評価」神戸高専研究紀要, 第48号, 2010年3月
- 4) 橋本渉一「超高速鉄道駅アプローチ加減速区間における線形評価」土木学会平成24年度関西支部年次学術講演会概要集, 2012年6月

表1 東京～大阪 線路諸元、時間比較

	東京～名古屋				名古屋～大阪				東京～大阪		
	始発駅	平面(km)	/在来	/新幹線	終着駅	平面(km)	/在来	/新幹線	平面(km)	/在来	/新幹線
東海道(御殿場経由)	東京～	378.3	1.03	—	—	—	—	—	—	—	—
東海道本線	東京～	366.6	1	1.07	～大阪	190.2	1	1.10	556.8	1	1.08
東海道新幹線	東京～	342.0	0.93	1	～新大阪	173.3	0.91	1	515.3	0.93	1
中央リニア新幹線	品川～	286.0	0.78	0.84	～新大阪	145.9	0.77	0.84	431.9	0.78	0.84
中央リニア/直線	品川～	264.8		1.08	～新大阪	135.2		1.08	400.0		1.08

表2 東京～大阪 距離比較

	平面曲線	縦断曲線	最大カント		最急勾配	トンネル断面	東京～名古屋		東京～大阪	
	(m)	(m)	(mm)	(度)	(%)	(m ²)	所要時間	時間比	所要時間	時間比
東海道本線	400	4,000	105	5.4	15	約50	4時間14分	6.3	6時間30分	5.9
東海道新幹線	2,500	10,000	200	7.6	20	62	1時間36分	2.4	2時間25分	2.2
中央リニア新幹線	8,000	40,000	—	10	40	74	40分	1	1時間7分	1